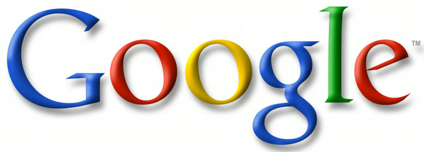
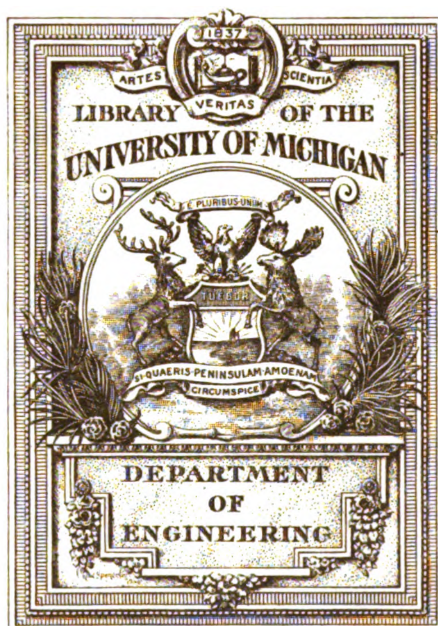




La Lumière électrique


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

TOME XX

3e TRIMESTRE 1899

PARIS

GEORGES CARRÉ ET C. NAUD, ÉDITEURS

3, RUE RACINE, 3

Tome XX. Samedi 8 Juillet 1899 6e Année. — N° 27.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

ÉTUDE DE LA CONSOMMATION DE PUISSANCE
DANS LA TRACTION ÉLECTRIQUE

Dans les applications de la traction électrique, la puissance consommée ne dépend pas seulement de la résistance de la voie et du profil ; elle dépend également de la fréquence des arrêts et de la vitesse moyenne de marche qu'il est nécessaire de maintenir. On est en général contraint de faire usage des freins pour amortir la vitesse au moment de l'arrêt, et par suite de perdre une certaine quantité de force vive qui s'ajoute au travail nécessaire pour vaincre les résistances de frottement et les déclivités.

L'énergie ainsi perdue peut s'évaluer immédiatement : supposons par exemple que la voie soit en palier, que la résistance au roulement soit de 8 kg par tonne et que l'effort retardateur total pendant l'arrêt soit de 80 kg par tonne.

Dans ce cas les neuf dixièmes de l'énergie accumulée dans le train sous forme de force vive au moment de l'application des freins seront perdus, et un dixième seulement sera utilisé à vaincre la résistance au roulement sur le parcours effectué avec application des freins.

Considérons maintenant un parcours donné à effectuer dans un temps donné : on devra se préoccuper de réduire au minimum la vitesse au moment du freinage, et par suite de rendre aussi rapides que possible le démarrage et l'arrêt.

Pour mettre en lumière les différences de travaux consommés sur un même parcours exécuté dans des conditions diverses, considérons un parcours de 500 m qu'il faudra effectuer en 70 secondes, et sur lequel la résistance au roulement sera de 8 kg par tonne. Nous admettrons que l'arrêt se fait dans tous les cas avec un effort retardateur de 80 kg par tonne.

Dans la figure 1 nous avons porté les temps en abscisses et les vitesses en ordonnées. Nous avons supposé d'abord que l'accélération se fait à raison de 30 kg par tonne.

Après 41,6 secondes le courant est coupé et le train continue par vitesse acquise puis

les freins sont appliqués. C'est le parcours OABC. On peut se contenter d'accélérer pendant 40 secondes, et maintenir ensuite la vitesse constante jusqu'au moment du freinage : c'est le tracé OA'B'C. Mais ce second tracé conduit à un travail indiqué plus élevé puisque la vitesse au moment du freinage est plus considérable. Il est bien évident que l'on obtiendra une marche d'autant plus économique que l'effort de traction au démarrage et que l'effort de ralentissement à l'arrêt seront plus puissants. Pour le dernier il est difficile de dépasser 80 kg par tonne ; pour le premier il peut être plus considérable et atteindre jusqu'à 150 kg par tonne sur une voiture à tous essieux moteurs. Avec un effort accélérateur de 75 kg, on obtient le parcours OA″B″C.

Si nous comparons les travaux effectifs pour ces trois parcours, nous trouvons des différences considérables.

Le travail dû au frottement est le même dans les trois cas ; il est égal à :

8 × 500 soit :	4 000	kgm par tonne

D'autre part

Les 9/10 de la force vive en B sont égaux à.	5 800	»
Les 9/10 de la force vive en B′ sont égaux à	6 350	»
Les 9/10 de la force vive en B″ sont égaux à	2 000	»

En ajoutant au travail dû au frottement les 9/10 de la force vive au moment du freinage on obtient les résultats suivants :

Le premier parcours demande au total.	9 800	kgm par tonne
Le second parcours demande au total	10 350	»
Le troisième parcours demande au total.	6 000	»

Ces chiffres mettent nettement en évidence les deux conclusions suivantes :

D'une part qu'avec un effort de traction donné il faut exercer le travail total pendant la période d'accélération, puis laisser courir.

D'autre part qu'un effort de traction élevé permet de réaliser une économie considérable sur le travail indiqué.

Il importe maintenant de voir quelles sont les modifications à apporter à ces considérations quand on considère la consommation de puissance électrique au lieu du travail effectif à la jante des roues.

A cet effet il est nécessaire de se rendre un compte exact du procédé employé pour démarrer les voitures électriques et des pertes

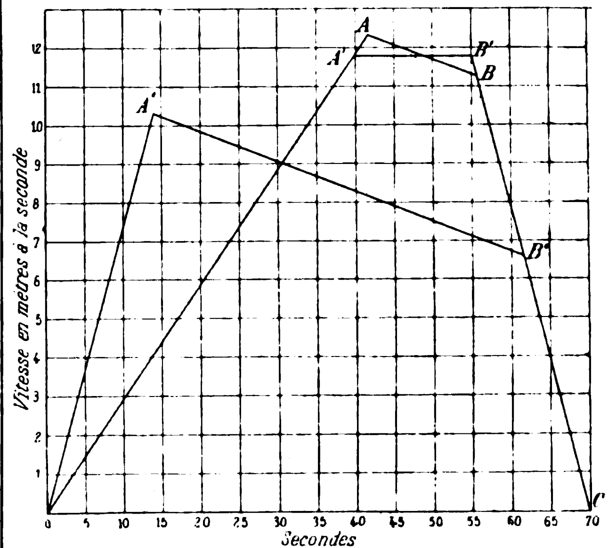


Fig. 1.

qui y prennent naissance. L'effort de traction d'un moteur électrique ne dépend que du courant consommé et reste indépendant du voltage appliqué. On obtiendra donc une accélération uniforme en maintenant ce courant aussi constant que possible par le moyen de résistances que l'on mettra en série avec le moteur au moment du démarrage et que l'on diminuera progressivement à mesure que s'élèvera la force contre-électromotrice du moteur. Cette dernière reste proportionnelle à la vitesse. La vitesse augmentant, il vient un moment où la force contre-électromotrice augmentée de la perte en volts résultant de la résistance du moteur est égale au voltage sur la ligne ; si le moteur est excité en série comme c'est le cas général, le moteur continuera à accélérer, mais avec un effort de

traction diminuant rapidement, et la vitesse sera asymptotique à une certaine valeur pour laquelle l'effort de traction est précisément égal à la résistance du train.

Nous appellerons première période celle pendant laquelle on fait usage de résistances, et seconde période celle pendant laquelle les moteurs travaillent à plein voltage.

Les rendements pendant ces deux périodes sont très différents ; il peut donc arriver que le système de traction le plus économique en pratique ne soit pas celui qui demande le moindre travail effectif à la jante des moteurs.

Pour fixer les idées soit un voltage appliqué de 100 volts. Admettons à pleine charge une perte de 8 volts par la résistance du moteur, une perte dans le fer de 4 p. 100 par hystérésis et par courants de Foucault, et enfin une perte de 5 p. 100 dans les engrenages. Le rendement total sera donc de 83 p. 100, à plein courant et à plein voltage.

La perte dans les engrenages reste à peu près proportionnelle au travail effectué. Le nombre des watts perdus dans le fer diminue rapidement avec la vitesse ; nous pourrons donc réunir sans erreur sensible les pertes dans l'engrenage et dans le fer sous un coefficient unique et nous contenter de multiplier par 0,91 le rendement électrique.

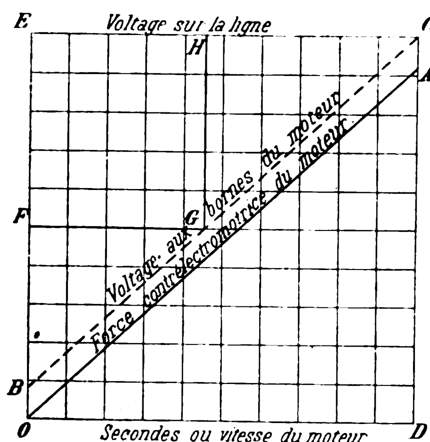


Fig. 2.

Dans la figure 2 nous portons en abscisses les temps, et en ordonnées les forces contre-électromotrices. Celles-ci sont, d'une part, la force électromotrice du moteur qui croît proportionnellement à la vitesse et par suite au temps, suivant OA, et d'autre part la perte de 8 volts par résistance du moteur, de sorte que le voltage aux bornes du moteur croît suivant la droite BC.

Le voltage appliqué est constamment de 100 volts, et la différence de voltage entre la ligne et le moteur est compensée par l'emploi de résistances en série sur le moteur.

Le rendement électrique est égal au rapport des aires OAD et OECD ; on voit qu'il est plus petit que $\frac{1}{2}$, et qu'il lui serait égal si la résistance du moteur était nulle. Ce rendement peut heureusement être amélioré par l'emploi du contrôleur série parallèle. Les moteurs sont démarrés en série, de sorte que le voltage appliqué à chaque moteur n'est réellement au début que de 50 volts ; le rendement électrique est alors représenté par $\frac{\text{aire OAD}}{\text{aire OFGHCD}}$; il serait égal à 75 p. 100 si la résistance du moteur était négligeable ; en admettant la perte de 8 volts, le rendement électrique sera, pendant la première période de démarrage, de 64,9 p. 100, et le rendement total, y compris les pertes dans le fer et dans l'engrenage, sera de 59 p. 100.

Pendant la seconde partie du démarrage, le courant diminue progressivement, en sorte que le rendement électrique augmente, mais comme la valeur absolue de la perte dans le fer reste à peu près constante, le rendement total reste en général à peu près constant, et on peut lui appliquer sans changement les valeurs de 83 p. 100 pour le moteur considéré.

En résumé, nous avons deux périodes bien différentes : pendant la première, le rendement est en moyenne de 59 p. 100, tandis qu'il est de 83 pendant la seconde.

Cela posé, nous avons deux cas à considérer :

Dans le premier, l'effort de traction est limité par l'adhérence ; c'est le cas des che-

mins de fer électriques proprement dits.

Dans le second, l'adhérence est largement suffisante, et l'effort de traction n'est limité que par la puissance du moteur; c'est le cas en général des voitures isolées.

Étudions d'abord le premier cas. Il est facile de se rendre compte qu'on a intérêt à utiliser toute l'adhérence des roues sur les rails; nous supposerons donc que l'effort accélérateur au début est maintenu à une certaine valeur constante qui ne dépend que de la fraction du poids total qui repose sur les essieux moteurs, et du coefficient d'adhérence. La première période du démarrage se fera donc avec une accélération bien déterminée qui restera constante jusqu'au moment où les moteurs sont mis en parallèle, sans adjonction d'aucune résistance; le seul élément à fixer sera donc la vitesse correspondant à ce moment, c'est-à-dire la fin de la première période.

Fig. 3.

Dans la figure 3 nous avons construit les graphiques de parcours pour plusieurs valeurs de cette vitesse.

Le trajet OABC est celui pour lequel tout le travail est fourni pendant la première période; dans les trajets OA_1B_1C, OA_2B_2C, OA_3B_3C, OA_4C la vitesse à la fin de la première période a été fixée successivement à 7, 6, 5 et 4,50 m : sec; il est évident qu'à mesure que l'on abaisse cette vitesse on augmente le travail utile demandé aux moteurs, mais comme on augmente le rendement, il existe pour une marche intermédiaire un parcours de consommation minimum d'énergie électrique; cela résulte du tableau suivant :

VITESSE de pleine charge.	TRAVAIL utile par tonne.	ÉNERGIE consommée par tonne.	RENDEMENT
m	Kgm	Kgm	
10,30	5 980	10 130	0,59
7	6 130	8 760	0,70
6	6 180	8 440	0,732
5	6 730	8 790	0,767
4,50	8 290	10 490	0,790

On voit qu'une vitesse à pleine charge de 6 m par seconde est celle qui conduit à la consommation d'énergie électrique la plus faible.

En pratique on aura toujours intérêt à prendre cette vitesse assez basse. En effet, la puissance exigée des moteurs est directement proportionnelle à cette vitesse. Les moteurs pour lesquels la seconde période de démarrage sera très longue seront plus légers, d'une part, et d'autre part ils donneront à l'usine génératrice une charge plus régulière, ce qui est très important pour la traction des trains lourds.

On sera donc conduit à sacrifier un peu sur l'économie de puissance consommée.

Une vitesse de 5,50 m : sec serait la plus convenable dans le cas étudié.

Dans la pratique, le problème se pose souvent d'une manière un peu différente; le moteur est donné, et on ne peut faire varier que le rapport d'engrenage. D'après ce que nous venons de dire, on voit qu'on doit déterminer ce dernier, de manière à utiliser dans une certaine mesure la seconde période de démarrage.

D'autre part, on peut chercher à réduire au minimum les pertes dans le moteur, afin de diminuer l'échauffement de ce dernier.

L'échauffement des enroulements est pro-

portionnel à I^2dt, et comme Idt ne varie que peu pour différents engrenages, on voit que l'on a avantage à allonger la durée totale du démarrage. Mais il en est tout autrement si on considère la perte dans le noyau de fer. Cette perte, en effet, résulte pour une forte proportion des courants parasites (dans les moteurs de ce genre, on est toujours conduit à adopter des induits à très large denture d'une part, et à haute saturation d'autre part); il en résulte qu'elle est relativement faible pendant la première période, et élevée, au contraire, pendant la seconde.

En général, on échauffe davantage les induits en prolongeant la durée du démarrage; il y a donc un certain régime plus avantageux que les autres, et dans un moteur bien étudié le régime le plus économique est également celui qui donne lieu au moindre échauffement.

Nous n'essayerons pas d'appliquer le calcul exact à ces questions, car on ne saurait traiter que des cas absolument particuliers; il nous suffit d'avoir montré que le moteur doit être déterminé en vue de parcourir par force acquise une certaine fraction du trajet. Cette disposition donne le régime le plus économique compatible avec la vitesse entre stations et l'effort de traction tel qu'il est limité par le poids adhérent.

Au point de vue des données de construction des moteurs nous ferons seulement remarquer que l'on voit apparaitre deux classes de moteurs. La première classe s'applique à un service à démarrages fréquents et à grande vitesse; le moteur doit alors marcher par à-coups, il doit être de faible résistance ohmique, afin de supporter des courants intenses, mais la perte dans le fer est de peu d'importance. La seconde classe s'applique, au contraire, à des parcours où la pleine vitesse est longtemps soutenue avec un courant relativement faible; de tels moteurs doivent avoir une faible perte dans le fer.

Passons maintenant au second cas à étudier, dans lequel l'effort de traction n'est pas limité par l'adhérence, mais où la puissance du moteur est déterminée.

Le facteur dont on dispose est encore le rapport d'engrenage, c'est-à-dire la vitesse de pleine charge, mais ici l'effort de traction sera en raison inverse de cette vitesse, tandis qu'il était constant dans le cas précédent.

Dans la figure 4 nous avons représenté les

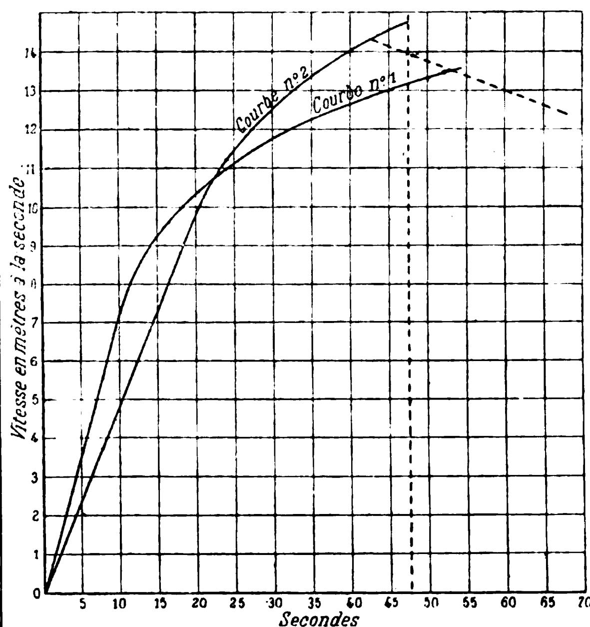


Fig. 4.

deux courbes de démarrage correspondant à une puissance de 6,87 kw par tonne; dans la première courbe, l'effort de traction est de 83 kg par tonne, jusqu'à la vitesse de 7 m par seconde; dans la seconde, l'effort de traction est de 58 kg. par tonne jusqu'à la vitesse de 10 m par seconde. Comme les aires inscrites sous les courbes représentent les espaces parcourus, on voit à première vue que pendant les 47 premières secondes environ, le moteur à faible vitesse aura l'avantage, tant pour la longueur du trajet effectué que pour le rendement. Le moteur à grande vitesse ne prendra l'avantage que lorsque le trajet entre stations sera long.

On devra donc, dans la pratique, se mettre dans des conditions telles que la vitesse maximum dont est capable le moteur soit près

d'être obtenue au moment où l'on coupe le courant pour laisser courir par force acquise.

Pour résumer cette étude, nous voyons qu'au point de vue de l'énergie consommée on a intérêt à adopter dans tous les cas l'effort de traction maximum ; mais tandis que la considération seule du travail à effectuer conduirait à employer une accélération constante, l'étude du rendement des appareils conduit à employer, dans une large mesure, la seconde partie du démarrage.

Maurice BRICARD.

SUR L'INDUCTION ÉLECTROSTATIQUE OU MAGNÉTIQUE ET SUR LE DIAMAGNÉTISME

Imaginons deux pôles magnétiques (m) et (m), c'est-à-dire deux centres de flux magnétique et considérons, avec Faraday, la valeur (R) de la réaction entre ces centres comme la résultante des réactions localisées dans toutes les parties de l'espace.

En mettant successivement les pôles dans deux milieux différents, par exemple l'air et le fer on sait que le rapport des réactions polaires R_{air} et R_{fer} est égal à un nombre μ, perméabilité magnétique du fer par rapport à l'air, égal à la capacité inductive spécifique du fer d'après Maxwell.

L'affaiblissement de la réaction dans le fer doit être attribué à la diminution des pressions entre les lignes de force et des tensions le long de ces lignes. Cette diminution s'explique par l'affaiblissement de l'énergie le long de chaque ligne.

Pour que la réaction dans l'air soit la μ^{me} partie de la réaction primaire (R), il faut que les nouveaux pôles soient $\left(\frac{m}{\sqrt{\mu}}\right)$, c'est-à-dire que le nouveau nombre des lignes issues des nouveaux pôles soit la $\sqrt{\mu}^{me}$ du nombre primitif.

Les réactions entre les pôles (m) et (m) dans le fer et les pôles $\left(\frac{m}{\sqrt{\mu}}\right)$ et $\left(\frac{m}{\sqrt{\mu}}\right)$ dans l'air sont égales et, comme les distributions des lignes de force sont aussi les mêmes, nous devons conclure que les pressions et les tensions sont égales dans les deux cas.

Bien que les champs soient identiques, leurs intensités, aux points correspondants, s'expriment par des nombres inégaux ; cela provient de l'adoption du même pôle-unité, qui a été choisi pour l'air ; en effet ce pôle-unité, placé au sein de fer à la distance (r) du pôle (m), éprouvera une force

$$\left[\frac{m}{\sqrt{\mu}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\mu}} \cdot \frac{1}{r^2}\right],$$

tandis que dans l'air, dans le champ du pôle $\left(\frac{m}{\sqrt{\mu}}\right)$, il réagit avec une force $\left[\frac{m}{\sqrt{\mu}} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{r^2}\right]$, qui est $\sqrt{\mu}$ fois plus grande. La même chose se passe pour les tensions et les pressions (F) ; si l'on utilisait la même formule $\frac{1}{8\pi} R^2$ pour les deux milieux, pour l'air la tension s'exprimerait par $\frac{1}{8\pi} R^2_{air}$, tandis que pour le fer cette formule donnerait une valeur (μ) fois moindre ; en effet $\frac{1}{8\pi} R^2_{fer} = \frac{1}{8\pi\mu} R^2_{air}$; il faudra la multiplier par le nombre μ pour avoir la tension vraie ; la formule de Maxwell $\left[\frac{\mu}{8\pi} R^2_{fer}\right]$ contient justement le facteur (μ).

On voit que quand un même pôle (m) est placé successivement dans les milieux N_1 et N_2, les forces des champs, et leurs tensions sont inversement proportionnelles aux nombres μ_1 et μ_2. On peut dire que chaque ligne de force, traversant la surface de séparation des deux milieux se transforme brusquement dans une autre ligne de manière que la force du champ et sa tension sont inversement proportionnelles aux nombres μ.

Entourons un pôle (m), placé dans l'air, d'une couche sphérique en fer, alors les ten-

sions des tubes de force, à leur entrée dans la couche, s'affaiblissent dans le rapport de μ à 1 ; de même, à la sortie elles augmentent dans le même rapport ; l'équilibre des tensions sera troublé à l'entrée et à la sortie ; la seule manière de concevoir son rétablissement est de supposer une réaction entre le tube de force et la matière interposée ; il est bien entendu que cette supposition n'entraîne aucune idée sur le mécanisme de la réaction.

Les réactions sont égales aux différences des tensions de part et d'autre de la surface de séparation ; elles sont les causes des mouvements, des tensions et des pressions, éprouvés par les corps dans le champ magnétique et constituent les forces pondéromotrices ; par exemple, dans le cas actuel la couche sera tendue radialement. Si la couche était en *bismuth*, milieu qui renforce les réactions des pôles qui y sont plongés, alors l'équilibre serait rétabli par les réactions entre les parties des lignes de force dans le bismuth et les corps ambiants ; ces réactions joueraient le rôle des poussées contre le diamagnétique ; la couche serait comprimée.

Des phénomènes analogues se passent pour l'induction électrostatique ; par exemple, si une couche sphérique conductrice enveloppe une masse électrique (q), les lignes électriques, vu la valeur énorme du pouvoir inducteur spécifique des conducteurs, disparaissent presque complètement à l'entrée de la couche, de sorte que la force pondéromotrice appliquée à l'unité de surface est presque égale à la tension des lignes de force.

On dit qu'elles s'interrompent à l'entrée, mais, si l'on niait leur existence, même temporaire, il serait difficile de concevoir leur apparition à la sortie. Si les ligne de force pouvaient exister dans la masse conductrice, leurs tensions ne seraient pas appréciables et l'identité prouvée de tous les conducteurs dans l'électrostatique ne serait troublée que dans les cas exceptionnels. La force pondéromotrice appliquée à un élément (ds) de la surface intérieure de la couche sphérique est égale à $\left(\frac{1}{8\pi}F^2\right) ds$, ou à $\left[\frac{1}{8\pi}\left(\frac{q}{r^2}\right)^2 ds\right]$; cette force peut être considérée comme la résultante de l'action de la masse (q) sur l'électricité induite $\left(\frac{1}{4\pi r^2}.\, q . ds\right)$ et de l'action de la couche totale induite sur cette dernière ; la première est $\left[\frac{1}{4\pi}\left(\frac{q}{r^2}\right)^2 . ds\right]$ et la seconde $\left[-\frac{1}{8\pi}\left(\frac{q}{r^2}\right)^2 . ds\right]$, leur résultante est $\left[\frac{1}{8\pi}\left(\frac{q}{r^2}\right)^2 . ds\right]$.

Un pôle électrique placé au sein d'un diélectrique liquide et entouré d'une couche gazeuse développerait des forces pondéromotrices tendant à la comprimer.

L'induction magnétique. — La transformation des lignes de force et le changement des pressions au passage d'un milieu (l'air) à un autre (le fer) explique suffisamment, et sans l'intervention des couches magnétiques fictives, les effets de l'induction magnétique et les mouvements des corps paramagnétiques ou diamagnétiques dans un champ magnétique.

Plaçons une aiguille infiniment mince de fer, parallèlement aux lignes d'un champ uniforme formé dans l'air et soit (N_{air}) le nombre des lignes du champ sur 1 cm² et (P_{air}) la pression du champ ; le nombre des lignes, perçant la section (dw) du fil, deviendra $\left[\frac{dw . N_{air}}{\mu}\right]$, et $\left[\frac{P_{air}}{\mu}\right]$ sera la pression entre ces lignes. A la surface latérale aura lieu une différence entre les pressions à l'extérieur et à l'intérieur, par suite de laquelle les lignes de force pénétreront de dehors en dedans ou inversement, selon la valeur de μ. Cette variation de l'énergie du champ se produit normalement aux lignes de force du champ.

Cette pénétration est suivie d'une condensation des lignes du champ près des extrémités et d'une déformation de ces lignes qui s'incurvent. Ces deux circonstances provoquent des résistances à la pénétration des lignes dans le cas où μ est plus grand que 1 ;

mais comme les dimensions de la section sont infiniment petites par rapport à la longueur du fil, l'influence des résistances sera infiniment petite et le mouvement du dehors se terminera quand les pressions à l'intérieur et à l'extérieur s'égaliseront.

Le nombre des lignes dans le fil et la force du champ seront la fraction $\left[\frac{1}{\sqrt{\mu}}\right]$ des quantités correspondantes dans l'air ; le nombre des lignes, qui viennent du dehors est $\{(\sqrt{\mu}-1)\, N_{air} \cdot dw\}$, et le nombre des lignes, qui étant dans l'air, percent maintenant la section du fil est $(\sqrt{\mu})$ fois le nombre de celles, qui percent la même section (dw) dans l'air.

Le nombre $(\sqrt{\mu})$ mesure la faculté du milieu (fer) d'être pénétré latéralement par les lignes du champ jusqu'à l'équilibre des pressions ; cette faculté peut être nommée sa *perméabilité magnétique*.

Plaçons dans le champ ci-dessus une lame infiniment mince en fer normalement aux lignes ; bien que les pressions entre les parties des lignes immergées soient diminuées, les lignes du champ ne pénétreront plus dans la lame ; à présent chaque ligne extérieure, pour entrer dans la lame, devra se déformer d'une quantité finie et, comme les forces déformantes sont dues aux différences des pressions sur les longueurs infiniment petites des lignes immergées, ces forces ne produiront aucune déformation finie et l'état du champ extérieur ne sera pas altéré.

La pression du champ dans la lame et le nombre des lignes de force (l'intensité du champ à l'intérieur) sont la fraction $\frac{1}{\mu}$ des quantités correspondantes dans le champ extérieur ; le rapport des nombres des lignes de force dans le fil parallèle aux lignes et dans la lame perpendiculaire à celles-ci est $(\sqrt{\mu})$. Si les lignes de force étaient distribuées uniformément dans les masses indéfinies du fer, successivement comme dans le fil, puis comme dans la lame, les forces agissant sur un pôle, placé successivement dans ces deux champs, seraient dans le rapport $(\sqrt{\mu} : 1)$.

Plaçons à présent dans un champ uniforme un cylindre de dimensions finies, parallèlement aux lignes du champ. Ce cas est intermédiaire entre les cas cités ; les lignes du champ pénètreront latéralement, mais comme les déformations des lignes deviennent finies et que la condensation de celles-ci près des bases produit aussi une résistance finie, les pressions à l'intérieur seront moindres qu'à l'extérieur. Le nombre des lignes (l'intensité du champ) en chaque point du corps dépendra de la force du champ primaire, de la valeur (μ) et de la forme du corps. Imaginons une fissure cylindrique infiniment mince, pratiquée autour d'un point du corps, parallèlement aux lignes de force en ce point, et remplie d'air. Si les lignes de force, perçant la section (dw) de cette fissure y restaient, leur nombre, la force de leur champ et la pression correspondante augmenteraient dans le rapport $(\mu : 1)$; pour satisfaire à l'équilibre des pressions, les lignes sortiront latéralement jusqu'à ce que les pressions ne s'égalisent plus. Comme la pression dans la fissure, pendant l'équilibre, est la même que dans la masse de fer autour du point considéré, le nombre des lignes dans la fissure est $(\sqrt{\mu})$ fois celui du fer.

Le rapport de toutes les lignes transformées dans la fissure aux lignes restées après la sortie est égal à $(\sqrt{\mu})$ et mesure aussi la *perméabilité* de la matière placée. La pression dans la fissure est moindre que dans le champ extérieur ; on explique ordinairement ce fait et on le calcule par l'action démagnétisante des couches fictives superficielles, tandis qu'il s'explique plus naturellement par la réaction à la pénétration latérale de dehors en dedans.

Imaginons maintenant une fissure plane infiniment mince, pratiquée normalement aux lignes de force, autour d'un point dans le fer et remplie d'air ; bien que les lignes perçant la fissure développent une pression (μ) fois plus grande, elles ne sortiront pas au dehors et le nombre de lignes deviendra (μ) fois plus grand que dans le fer. Comparant les

nombres des lignes dans cette fissure et dans la fissure précédente, on voit que leur rapport est égal à $(\sqrt{\mu})$. Maxwell, donnant à la perméabilité la valeur μ, la définit comme le rapport des forces appliquées à un pôle-unité, placé successivement dans la seconde fissure et dans la première; si nous plaçons successivement un pôle-unité dans deux champs indéfinis uniformes, formés dans l'air et identiques à ceux qui règnent dans les deux fissures, nous voyons que le rapport des actions est égal non à (μ), mais à $(\sqrt{\mu})$.

L'aspect des spectres magnétiques dans le cas où un corps en fer est placé dans un champ et surtout la réfraction des lignes est bien conforme à l'explication, donnée dans cette note, de l'induction magnétique ; les mots mêmes d'induction et de lignes d'induction sont superflus, parce qu'il n'y a rien d'induit. Enfin l'expression « *perméabilité* » est beaucoup plus conforme à cette manière d'envisager l'induction.

Explication des mouvements des corps paramagnétiques. — D'après l'existence des liens entre les lignes des forces et les corps placés dans le champ on peut donner l'explication des mouvements. Par exemple, un disque dans un champ uniforme est tendu le long des lignes et perpendiculairement à ces lignes; si l'on adopte l'explication donnée par M. Quincke de la compression d'une bulle d'air entre les plaques d'un condensateur, il faut dire que le disque est aussi comprimé transversalement. Si le disque est placé dans un champ de lignes de force parallèles, mais non uniformes, alors la moitié, entourée des lignes les plus concentrées, éprouve une tension transversale plus grande que l'autre moitié et le disque se déplace du côté des lignes plus intenses et normalement à ces lignes.

Un disque dans le champ divergent d'un pôle, éprouve des tensions longitudinales plus fortes du côté du pôle.

Le diamagnétisme. — Ici les lignes de force du champ au lieu d'être poussées du dehors seront repoussées du dedans en dehors; les déformations des lignes du champ seront opposées aux précédentes et les tensions seront remplacées par les poussées du côté du milieu ambiant. La perméabilité des corps diamagnétiques n'a pas de sens ; cependant, en généralisant la notion on peut dire que cette perméabilité est égale à $(\sqrt{\mu})$, elle est moindre que l'unité. Les mouvements s'expliquent non moins facilement que pour les corps paramagnétiques. Par exemple, un disque de bismuth dans un champ uniforme éprouve une contraction ; dans un champ non uniforme il repousse avec une plus grande force les lignes du champ du côté où le champ est le plus intense et éprouve une plus grande poussée de ce côté, c'est-à-dire qu'il est sollicité vers les points où le champ est le moins intense. Un disque, devant un pôle augmente la dispersion des lignes et éprouve une poussée plus grande du côté du pôle.

Considérons quelques cas de magnétisation du fer et du bismuth. Plaçons un cylindre de fer dans le champ d'une bobine et soit son milieu à quelque distance de celui de la bobine ; d'après la déformation des lignes de la bobine par la pénétration latérale dans la masse du cylindre, on voit que les forces pondéromotrices appliquées aux bases et à la surface latérale du cylindre le sollicitent à reprendre la position symétrique. Dans le cas du bismuth, les forces pondéromotrices se transforment en poussées, qui déplacent le bismuth hors de la bobine. A cause de la condensation et de la raréfaction du champ près des bases, les pressions du champ intérieur ne s'égalisent pas avec celles du champ extérieur ; dans le fer elles sont moindres et dans le bismuth plus élevées. Si la longueur est très grande par rapport aux dimensions transversales, comme dans les expériences d'Ewing, les pressions deviennent égales excepté aux extrémités.

A ce sujet se place une importante remarque. Au fur et à mesure que les lignes du champ pénètrent dans le fer, les nouvelles

lignes se forment aux dépens de l'énergie du courant jusqu'à ce que les pressions à l'intérieur de la bobine près des spires reprennent leurs valeurs primitives : au contraire, les lignes du champ extérieur sont proportionnellement augmentées et produisent l'illusion de la formation des pôles dans le cylindre. Dans la description ordinairement adoptée de l'aimantation du fer, le processus est purement intérieur, tandis que dans la description proposée tout le champ appartient exclusivement aux foyers des lignes de forces-aimants et courants, et le mouvement des lignes de Faraday, et par suite de l'énergie, se produit, conformément au théorème de M. Poynting, normalement aux lignes.

Le cylindre de bismuth projetant les lignes en dehors, augmente la pression du champ près des spires ; cette nouvelle pression ne subsiste pas constamment parce que le courant actuel ne peut la soutenir ; le nombre des lignes de force et, par suite, le champ extérieur doivent s'affaiblir. Cet affaiblissement produit l'illusion de la formation de pôles contraires à ceux du fer ; c'est ce qui arrive précisément dans la belle expérience par laquelle Tyndall, voulut résoudre la question de la polarité. Introduisant un noyau de bismuth dans une bobine, on diminue le nombre des lignes et la force électromotrice d'induction concourt à celle du circuit ; si le noyau est déjà à l'intérieur de la bobine, la fermeture et l'ouverture du circuit produisent une induction électromagnétique moindre que si à la place du bismuth il y avait de l'air. Quand un tore en fer est enfermé dans un solénoïde fermé, les lignes du champ se précipitent dans le tore jusqu'à ce que l'égalisation des pressions soit terminée. Le nombre total des lignes qui pénètrent dans la masse est $(\sqrt{\mu})$ fois celui du champ primaire, occupé par le volume du tore. Si l'on dispose autour du tore une bobine secondaire, fermée par un galvanomètre balistique, la fermeture et l'ouverture du courant magnétisant produisent un courant d'induction ; la quantité totale d'électricité mise en jeu s'exprime par la formule $\frac{n', s, \mu F}{R}$; elle est proportionnelle à la valeur de (μ). Mais la force électromotrice totale d'induction est aussi proportionnelle au nombre total des lignes du champ de la bobine primaire, qui entrent dans la bobine secondaire, en coupant ses spires et comme ce nombre est $(\sqrt{\mu})$ fois le nombre des lignes dans le volume d'air occupé par le fer et s'exprime par $[n' s. F \sqrt{\mu}]$, on voit que les indications du galvanomètre donneront la valeur de la racine carrée de μ.

(*A suivre.*)

Wladimir DE NIKOLAÏEVE
Professeur à l'École militaire Paul, de Saint-Petersbourg.

L'EXPOSITION INTERNATIONALE D'AUTOMOBILES AUX TUILERIES

La caractéristique de cette seconde exposition d'automobiles, c'est, sans contredit, la place importante qu'y occupent les voitures électriques.

Le catalogue ne comporte pas moins de 25 exposants et environ 75 voitures électriques de toutes formes, depuis la légère voiturette-tricycle jusqu'à la lourde voiture de livraison, au fourgon de sapeurs-pompiers, à la balayeuse des rues.

Les progrès réalisés ne sont pas, à beaucoup près, en proportion du nombre toujours croissant de voitures exposées. Plusieurs dispositions sont très intéressantes, mais il serait à souhaiter, par contre, que certains constructeurs se contentent d'exposer et ne cherchent pas à vendre avant que leurs modèles soient bien au point ; la nouvelle industrie ne pourrait qu'y gagner ; il est très facile de construire une voiture électrique, mais

pour en construire une bonne, il faut de longues et coûteuses expériences; vouloir en faire supporter les frais au public n'aurait d'autre résultat que de le rendre méfiant et de lui faire croire que la voiture électrique n'est pas pratique.

Il est regrettable que les organisateurs n'aient pas forcé les constructeurs à exposer davantage les mécanismes; ceux-ci sont cachés avec soin et les constructeurs, en général, se refusent à donner les renseignements nécessaires pour juger et comparer les systèmes. Cela donne à l'ensemble l'aspect d'une salle de vente plutôt que d'une exposition industrielle, ce qu'on ne peut que déplorer.

Nous reviendrons bientôt sur chaque système en particulier; aujourd'hui nous passerons rapidement en revue l'ensemble de l'exposition.

Parmi les voitures déjà connues, il y a peu de modifications à signaler; aucune, même, dans celles de M. Jeantaud.

M. Kriéger a simplement modifié la construction mécanique de la direction par essieu brisé.

M. Jenatzy, lui, a complètement abandonné son changement de vitesse mécanique, ce qui n'étonnera personne, pour adopter un système plus rationnel de régulation du moteur; les changements de vitesse sont obtenus : 1° en couplant les deux batteries, de 22 éléments chacune, soit en tension soit en quantité; 2° en couplant les deux induits des deux moteurs en série ou en parallèle; 3° en couplant les deux inducteurs d'une façon analogue; 4° au moyen d'un rhéostat.

Cet inventeur a conservé pour opérer ces couplages 4 manettes différentes au lieu d'employer un seul combinateur, ce qui serait beaucoup plus simple et prêterait moins aux erreurs de manœuvre. Il est à prévoir qu'il abandonnera ce dispositif lorsqu'il aura plus d'expérience de l'électricité, comme il a abandonné le changement de vitesse par engrenages.

La Compagnie française des voitures électromobiles, outre des modèles des fiacres employés à Paris, des voitures de livraison, des omnibus, expose des voitures à avant-train moteur et directeur du système Doré, dans lesquelles la batterie d'accumulateurs est complètement contenue dans le coffre de la voiture qui conserve cependant sa forme ordinaire.

MM. Bouquet, Garcin et Schivre n'ont pas apporté de modifications à leurs modèles de l'an dernier. Ils exposent les photographies d'un fourgon que le régiment de sapeurs-pompiers de Paris a fait construire et sur lequel, à la suite d'un concours, il a adapté leur système.

Dans l'exposition de MM. Patin et Réquillard, à côté des voitures décrites ici même l'an dernier, nous avons remarqué une voiturette-tricycle dont l'avant-train est moteur et directeur et dont les accumulateurs sont complètement masqués dans la caisse de la voiture. L'ensemble a ainsi une forme très bonne. La transmission avec changement de vitesse mécanique et embrayage de courroies, ces dernières venant très près du sol, semble critiquable.

MM. Ch. Mildé fils et Ce, exposent leur voiture de livraison qui est en service quotidien depuis plus d'un an et qui a dernièrement accompli avec succès les épreuves du concours de fiacres; ils exposent aussi une voiturette-tricycle du système Greffe, aménagée pour le transport des petits colis.

Les voitures américaines exposées en assez grand nombre (Columbia, Riker) sont bien connues de nos lecteurs. Elles ne sont pas aménagées pour le service de fiacres, ne comportant pas de siège spécial pour le cocher. Leurs formes sont généralement bonnes, leur carrosserie bien vernie, mais leur solidité ne paraît pas à toute épreuve.

Parmi les nouvelles venues, nous signalerons la voiture de M. H. Monnard. L'inventeur déclare réduire la consommation spécifique à 48 watts-heures par tonne-kilomètre rien qu'en substituant les frottements à rouleaux aux frottements ordinaires ou aux

frottements à billes, ce qui lui permettrait d'accomplir avec une seule batterie à formation Planté ne pesant que 400 kgr, un parcours de 150 à 200 km. Il est plus que probable que ce sont là des chiffres calculés et non des résultats d'expérience.

L'Autocab du capitaine Draulette — le même inventeur qui avait eu l'idée originale, jamais réalisée, d'une voiture gyroscopique à deux roues — est remarquable (?) par sa forme ; la caisse est circulaire; on y pénètre par l'avant; la banquette en forme de secteur de couronne permet aux voyageurs, qui peuvent être quatre, de se placer commodément.

Le cab de MM. Védovelli et Priestley présente de nombreuses dispositions très originales. Il n'a pratiquement que deux roues, placées à l'arrière et sur lesquelles la presque totalité du poids est reportée, le centre de gravité restant cependant un peu vers l'avant. Ces roues sont à la fois motrices et directrices. A l'avant, se trouve simplement un galet qui empêche la voiture de donner du nez. Le système de différentiel, d'un dispositif nouveau, sera décrit prochainement. Les mêmes constructeurs exposent une petite station de charge composée d'un moteur à pétrole et d'une dynamo ; son poids minime et son faible encombrement permettent de la transporter sur les voitures.

Dans la voiture Sperry construite par The Cleveland Machine Screw Company, on a cherché à simplifier la manœuvre en la concentrant dans un seul levier mobile horizontalement et verticalement et qui sert à la fois à la direction, à la régulation de la vitesse, au freinage et à l'arrêt; un bouton, manœuvré par le pied, permet d'obtenir une vitesse supplémentaire plus élevée en shuntant les inducteurs ; un frein mécanique peut être commandé aussi par le pied.

MM. Amiot et Péneau ont construit un avant-train moteur électrique qu'ils ont adapté à une balayeuse électrique de la Ville de Paris, sur laquelle est monté aussi un système d'arrosage par pulvérisation d'eau imaginé par MM. Locherer et Thomas. L'ensemble permet le nettoyage des rues sans boue ni poussière. Plus de pavés gras!

L'espace nous étant limité pour cette rapide revue, nous mentionnerons simplement, quitte à revenir bientôt, les voitures de MM. Th. Cambier et C°, avec accumulateurs spéciaux système Cambier ; de la compagnie des automobiles et cycles Hurtu, Diligeon et Cie, de MM. Durey et Sohy, Guiet et Cie, les voitures Waverley exposées par MM. Reynaud et Cie, la voiture de M. Silvestri, de Milan, celles de la Société anonyme des applications électriques, de la Société anonyme des automobiles Koch, de la Société des voiturettes L. Créanche, Ch. Brunel et Cie, de la Société anonyme de construction d'automobiles « la Marque Georges Richard », et nous dirons, pour terminer, quelques mots de la voiture mixte exposée par les établissements Pieper.

Cette voiture, qui a beaucoup attiré l'attention est une combinaison de la voiture à pétrole et de la voiture électrique.

Les roues motrices sont attaquées par un moteur à pétrole par l'intermédiaire de changements de vitesse mécaniques, comme d'ordinaire, mais, sur un des arbres intermédiaires est montée une petite dynamo reliée à une batterie d'accumulateurs. Lorsque la voiture est en marche, sur bonne route, en palier, la puissance totale du moteur à pétrole n'est pas dépensée par la traction ; l'excès est absorbé par la dynamo et sert à charger les accumulateurs ; lors des arrêts, aux descentes, il en est de même. Le moteur à pétrole marche donc toujours à pleine charge. Mais lorsque l'effort de traction devient trop grand, lors de la montée des rampes, par exemple, la batterie se décharge dans la dynamo qui vient alors en aide au moteur à pétrole; celui-ci peut donc être d'une puissance assez faible.

La batterie et la dynamo peuvent aussi être de faible puissance puisqu'elles ne servent que de « cheval de renfort » ; comme les accumulateurs sont constamment maintenus en charge et qu'ils ne se déchargent que pendant peu de temps à la fois, ils travaillent

avec un bon rendement, une puissance spécifique considérable et ont peu de tendance à se sulfater. La mise en train du moteur à pétrole se fait tout simplement par l'entraînement de la dynamo.

Tels sont, rapidement exposés, les avantages réclamés pour ce système ; seront-ils consacrés par l'expérience ? Nous le souhaitons, mais, à parler franc, nous ne le croyons pas. Un système absolument analogue a été déjà proposé, au commencement de 1897, par M. Dowsing [1]. Nous ne sachons pas qu'il ait répondu à l'attente de l'inventeur.

G. PELLISSIER.

(1) *Industries and Iron*, 12 juin 1897, p. 505.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Sur le calcul de l'effort maximum disponible à la barre d'attelage d'un tracteur ;

Par A. PETOT [1].

En cherchant à déterminer dans divers cas particuliers les conditions de stabilité des voitures automobiles, M. A. Petot a obtenu quelques résultats différant un peu de ce qui est admis dans la pratique. En attendant la publication prochaine de ces résultats dans le *Bulletin de la Société industrielle du Nord*, il indique dans la note qui nous occupe ce qui est relatif au calcul de l'effort maximum disponible à la barre d'attelage d'un tracteur ; il y établit successivement l'inégalité donnant la valeur maximum de l'effort moteur appliqué à la jante d'une roue, puis celles qui permettent de déterminer la valeur maximum de l'effort exercé à la barre d'attelage par un tracteur dont toutes les roues sont motrices et par un tracteur à deux essieux dont un seul est moteur.

Disons immédiatement que dans une note présentée à la séance de l'Académie des sciences du 12 juin [2], M. A. Blondel faisait observer que, dans son ouvrage « La traction électrique sur voie ferrée », il a déjà signalé l'inexactitude des formules de traction généralement données pour l'équation du mouvement d'une automobile et qu'il y a établi une formule exacte comprenant comme cas particulier l'une de celles auxquelles arrive M. Petot [la formule (5) ci-dessous]. Pour cette raison nous modifierons légèrement, dans l'exposé qui suit du travail de M. Petot, les notations employées par cet ingénieur afin de pouvoir passer facilement au besoin aux notations de M. Blondel.

I. CALCUL DE L'EFFORT MOTEUR A LA JANTE. — Soient Φ le couple moteur appliqué à une roue ; R et r le rayon de cette roue et celui de la fusée ; I le moment d'inertie d'une roue, y compris au besoin la moitié de l'essieu, par rapport à l'axe de rotation ; N la réaction normale ; T la fraction utilisée de l'adhérence ; $\mathcal{R}$ et $\mathcal{R}'$ les réactions égales et directement opposées qui s'exercent entre la fusée et le coussinet ; φ l'angle de frottement de la fusée ; δ le paramètre de résistance propre au roulement ; v et γ la vitesse et l'accélération à l'instant t. Le théorème des moments donne, pour chaque roue motrice :

$$\Phi = TR + N\delta + \mathcal{R}r \sin \varphi + I\frac{\gamma}{R}, \qquad (1)$$

où les termes $N\delta$, $\mathcal{R}r \sin \varphi$ et $I\frac{\gamma}{R}$ représentent respectivement les couples produits par la résistance propre au roulement, le frottement de la fusée et l'inertie de la roue.

Comme T est au plus égal à aN, a étant le coefficient d'adhérence, on en déduit pour l'effort moteur F à la jante d'une roue

$$F = \frac{\Phi}{R} < aN + \frac{N\delta + \mathcal{R}r \sin \varphi}{R} + I\frac{\gamma}{R^2} \qquad (2)$$

(1) *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1282, séance du 23 mai 1899.

(2) *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1441.

On voit par cette formule que l'effort moteur à la jante peut, contrairement aux idées reçues, dépasser, sans qu'il y ait patinage, l'adhérence aN de cette roue [1].

M. Petot fait aussi remarquer que l'inverse a lieu si l'effort moteur au lieu de faire tourner la roue tend au contraire à l'arrêter, en d'autres termes si le moteur fait frein, car alors l'égalité (2) doit être remplacée par la suivante

$$F < aN - \frac{N\delta + \mathcal{P}r \sin \varphi}{R} - I \frac{\gamma}{R^2} \qquad (3)$$

où le terme $- I \frac{\gamma}{R^2}$ est, il est vrai, positif, mais inférieur à $\frac{N\delta + \mathcal{P}r \sin \varphi}{R}$.

[1] M. Blondel était arrivé à la même conclusion, sous une forme un peu différente par les considérations suivantes (*La traction électrique sur les voies ferrées*, t. II, p. 488) :

« Les forces auxquelles la voiture est soumise sont de deux sortes : il y a d'une part les forces *intérieures*, qui sont l'effort moteur produit par la dynamo et les forces de frottement, et d'autre part, les forces *extérieures*, qui sont les forces tangentielles, dont nous appellerons la somme T, appliquées aux jantes des roues pour produire la propulsion de la voiture, les forces normales qui produisent le travail de roulement, et enfin les forces constituant la résistance extérieure. Nous supposerons d'abord qu'il s'agit d'une automobile ayant tous ses essieux moteurs ; le poids adhérent est alors le poids total P de cette automobile.

» Il doit y avoir à chaque instant équilibre entre les forces *extérieures* au système ; si nous les projetons sur la direction du rail, en appelant X la somme de ces projections, les forces normales disparaissent et l'effort de traction T doit être égal à X.

» D'autre part, l'effort moteur à la jante F, équivalent au travail produit par le moteur sur l'essieu, doit être égal à la somme de tous les efforts résistants, c'est-à-dire, en appelant r' le coefficient de frottement des essieux dans les boîtes à huile et coussinets

$$F = X + Pr'.$$

» On en déduit

$$F = T + Pr' \qquad \text{ou} \qquad T = F - Pr',$$

c'est-à-dire que *l'effort tangentiel* T *exercé entre la jante des roues et le rail est égal* non pas, comme on le dit généralement, au *produit du poids par le coefficient total de traction*, mais à ce produit *diminué des résistances passives*. L'erreur, assez faible du reste, que l'on commet souvent en écrivant

$$T = F,$$

provient de ce qu'on oublie la distinction fondamentale entre les forces intérieures et les forces extérieures au système. »

II. Effort a la barre d'attelage d'un tracteur dont tous essieux sont moteurs. — Si toutes les roues sont motrices la somme ΣN de toutes les réactions normales du sol sur les roues est égale, en palier et en alignement droit, au poids total P du véhicule. D'un autre côté la somme des efforts tangentiels T exercés entre les jantes des roues et les rails doit être égale à la somme de l'effort F_a à la barre de traction et des projections sur la direction du mouvement des résistances passives, résistances qui, en palier et en alignement droit, sont la résistance Z de l'air et la résistance virtuelle $\frac{P}{g}\gamma$ résultant de l'accélération du mouvement ; donc

$$\Sigma T = F_a + Z + \frac{P}{g}\gamma \qquad (4)$$

Pour qu'il n'y ait pas patinage, il faut que l'inégalité

$$Pa > F_a + Z + \frac{P}{g}\gamma \qquad (5)$$

soit satisfaite [1].

Telle est la relation exacte qui permettra de déterminer la valeur maximum de l'effort de traction à la barre d'attelage. Si la vitesse

[1] Dans la formule plus générale

$$(P + Q)\left(i + c + \frac{1}{g}\gamma\right) + P''\rho' + Q\rho + Z \leqq P'a$$

qu'a donnée M. Blondel (*La traction sur les voies ferrées*, t. II, p. 494), les lettres ont les significations suivantes :

P, poids de la locomotive ou automobile, qui se décompose en P' poids adhérent et en P'' poids non adhérent ;

Q, poids des voitures remorquées ;

ρ, coefficient de roulement du matériel remorqué comprenant les effets du frottement des fusées dans leurs coussinets, le frottement de roulement des roues sur les rails et enfin le glissement des roues sur les rails par l'effet de patinages partiels ;

ρ', coefficient de roulement défini de même pour l'automobile ;

c, un coefficient de frottement par l'effet des courbes ;

Z, résistance de l'air ;

i, inclinaison de la voie ;

a, coefficient d'adhérence.

Pour tenir compte de l'inertie des roues et des armatures des moteurs actionnant les roues il suffit (voir *loc. cit.*, p. 518) de remplacer P par le produit de ce poids par une somme de facteurs dont la valeur est 1, 28 dans une automobile pour tramways.

est constante, l'accélération γ est nulle et le dernier terme du second membre de l'inégalité disparaît ; si en outre cette vitesse est assez faible pour que la résistance de l'air, soit négligeable le second terme disparaît aussi ; on a alors $Pa = F'$, c'est-à-dire que :

« A vitesse constante, en palier et en alignement droit, dans le cas où la vitesse est assez faible pour que la résistance de l'air soit négligeable, un tracteur dont tous les essieux sont moteurs n'utilise aucune fraction de son adhérence pour se remorquer lui-même : le pouvoir adhérent Pa est alors entièrement disponible à la barre d'attelage. »

A première vue cette conclusion parait paradoxale, mais il suffit d'examiner l'équation (1) pour se l'expliquer. Cette équation montre en effet que le tracteur emploie bien le couple moteur Φ pour se remorquer lui-même mais sans faire intervenir son adhérence, qui reste alors entièrement disponible à la barre d'attelage.

Cette conclusion montre en même temps l'inexactitude de la formule

$$P'a > F_a + F'_a \quad (6)$$

que l'on emploie usuellement pour calculer l'effort F_a sur la barre d'attelage et où P' désigne le poids moteur et F'_a l'effort nécessaire pour remorquer le tracteur lui-même dans les conditions identiques à celles où se produit le mouvement. Dans le cas considéré où la résistance de l'air est Z et l'accélération γ on a

$$F'_a = Pa_1 + Z + \frac{P}{g}\gamma, \quad (7)$$

a_1 étant un coefficient variable d'un véhicule à l'autre.

Comme en outre $P' = P$, on a, au lieu de l'inégalité (5), l'inégalité évidente

$$Pa > F_a + Pa_1 + Z + \frac{P}{g}\gamma.$$

La formule usuelle conduit ainsi, dans le calcul de l'effort maximum disponible à la barre d'attelage d'un tracteur, à une erreur par défaut égale à Pa_1. Cette erreur n'est guère que de 5 kg par tonne pour la traction sur rails, mais elle peut atteindre 15 kg par tonne pour la traction sur route.

III. Effort de traction a la barre d'attelage d'un tracteur a deux essieux dont un moteur. — L'inégalité (5) doit être alors remplacée par la suivante

$$P_1 a > F_a + P_2 a_1 + Z + \frac{P}{g}\gamma$$
$$\mp \frac{a + a_1}{l}\left(hF_a + h'P\frac{\gamma}{g} + h''Z + P\delta\right) \quad (8)$$

où P_1 et P_2 désignent les charges de l'essieu moteur et de l'essieu porteur au repos, l la distance de ces essieux, et h, h', h'' les hauteurs de la barre d'attelage, du centre de gravité et du centre de poussée de l'air au-dessus du sol. Il faut prendre le signe + ou le signe — suivant que l'essieu moteur est à l'avant où à l'arrière du véhicule.

Cette inégalité montre qu'avec les essieux placés à l'arrière on a une meilleure utilisation de l'adhérence. Par contre, la stabilité peut se trouver alors compromise par ce que, la charge étant reportée sur l'essieu d'arrière, le véhicule est exposé à se renverser en basculant autour de cet essieu. Pour éviter qu'il en soit ainsi, il suffit de faire en sorte que, dans le cas limite du patinage, l'essieu d'avant soit encore suffisamment chargé. Si l'on suppose, pour plus de simplicité, que les trois hauteurs h, h', h'' sont égales, la condition à remplir est

$$h[Pa - S(a + a_1)] < l(P_2 - S) - P\delta \quad (9)$$

en désignant par S la charge de sécurité.

On obtient des résultats analogues aux précédents, mais dans un ordre inverse, quand on étudie le mode de fonctionnement des freins. La charge se reportant à l'arrêt sur l'essieu d'avant, la stabilité peut être compromise quand cet essieu est moteur. L'auteur a étudié quelles sont, dans ce cas, les conditions à remplir pour assurer la stabilité quand on doit serrer les freins dans

une courbe ou en descendant une côte; les résultats de cette étude seront publiés ultérieurement.

Influence de la température de l'électrolyte sur la qualité du cuivre électrolytique et celle des boues anodiques;

Par F. Fœrster [1].

Nous extrayons cette étude d'un travail de F. Fœrster paru dans le *Zeitschrift für Elektrochemie* sous le titre : *Quelques observations sur les phénomènes qui se produisent au cours de l'électrolyse des solutions de sulfate de cuivre* [2].

L'électrolyte employé pour les essais était constitué par une solution contenant par litre 125 gr de sulfate de cuivre et 50 gr d'acide sulfurique. La cuve électrolytique était constituée par un vase en verre situé dans un bain-marie. Les électrodes étaient constituées par une cathode en cuivre pur de 13 cm × 13 cm avec 0,5 mm d'épaisseur, ainsi que par deux anodes en cuivre commercial ordinaire de 2 mm d'épaisseur enveloppées chacune de papier parchemin et situées de part et d'autre de la cathode à 2,5 cm environ de celle-ci. La densité de courant était de 0,01 ampère par centimètre carré de cathode soit une intensité de courant de 3,5 ampères.

On obtient ainsi une couche régulière facile à enlever, de près de 2 mm d'épaisseur, beaucoup plus granuleuse en bain froid qu'en bain chaud. Le tableau suivant indique la moyenne des résultats qu'on a obtenus dans ces conditions, avec les essais de traction, pour les cuivres obtenus à différentes températures. L'appareil de traction employé était celui de Reusch.

Température de l'électrolyte.	Tension moyenne du bain.	Résistance (longueur de traction en km.)	Ténacité (allongement à la rupture p. 100
20°	0,32 volt	2.15	9,12
40°	0,25 »	2,67	28
60°	0,20 »	2.69	13.5

Ainsi à 35-40° on obtient du cuivre particulièrement tenace; en élevant la température à 60° la ténacité diminue de nouveau; à une température plus élevée encore, on obtient du cuivre plus résistant qu'à 20°, mais c'est à 35-40° qu'on obtient du cuivre ayant les propriétés mécaniques les plus satisfaisantes. Cependant jamais les propriétés mécaniques du cuivre électrolytique ne valent celles du cuivre pur de fabrication non électrolytique.

A quoi est due cette influence de température? Agit-elle sur la cristallisation du cuivre cathodique comme le font certains corps comme le sulfate de soude? C'est ce qu'on ne peut affirmer. L'action du sulfate de soude, est démontrée par les deux essais suivants qui se rapportent aux bains déjà décrits additionnés d'un équivalent de sulfate de soude pour chaque équivalent de sulfate de cuivre.

Température de l'électrolyte.	Résistance (longueur de traction en km).	Ténacité (allongement à la rupture p. 100).
20°	2,46	15,2
40°	1,96	10,82

Ici une élévation de température nuit aux propriétés mécaniques du cuivre.

L'étude relative à l'influence de la température sur la qualité des boues d'anode a montré qu'à la température ordinaire, 0,5 kg de cuivre anodique ont donné avec une densité de courant de 0,003 ampère par centimètre carré, 3,7 gr de boues de couleur rouge-brun contenant 60-70 p. 100 de cuivre (en partie sous forme de Cu^2O); tandis que dans les mêmes conditions à 40° on a eu 1,2 gr de boues de couleur gris clair et ne contenant que 1 p. 100 de cuivre.

Avec une densité plus forte (0,01 ampère par centimètre carré) la quantité de boue et sa composition sont les mêmes à la température ordinaire (20°) et à 40°, soit 2,5 gr boue

---

(1) *Zeitsch. fur Elektrochemie*, t. V, p. 508, 4 mai 1896.

(2) Elle complète l'étude faite par le même auteur et dont nous avons rendu compte dans *L'Éclairage Électrique* du 3 juin 1899.

par kilogramme de cuivre anodique à 10 p. 100 d'argent environ. On ne peut affirmer que ce phénomène soit général puisque l'auteur n'a opéré qu'avec une seule variété de cuivre. A 60°, toujours pour la densité de 0,01 ampère par centimètre carré, la quantité de boue augmente considérablement; elle peut atteindre 50 gr par kilogramme de cuivre anodique; la boue contient, dans ce cas, beaucoup de cuivre métallique en petits cristaux. Ces cristaux proviennent de la réaction dont nous avons déjà parlé dans un article précédent [1].



$$SO^4Cu^2 = SO^4Cu + Cu$$

réaction analogue à celle qui se passe au cours de l'électrolyse de l'or [2], en solution chlorhydrique de chlorure à 70°.



$$3\,AnCl = AnCl^3 + 2\,Au.$$

A. Ho.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 342, 3 juin 1899.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XVI, p. 148, 23 juillet 1898.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Nouvelle méthode galvanométrique;

Par Féry [1].

« I. La grande sensibilité acquise par les galvanomètres à cadre mobile, quand on leur applique les considérations que j'ai développées dans une Note précédente [2], empêchent d'employer les méthodes ordinaires pour déterminer l'intensité qui les traverse.

» En effet, quand le couple de torsion est très faible, le zéro est flottant et les déviations deviennent incertaines.

» La détermination de la vitesse que prend l'équipage mobile peut, au contraire, servir à mesurer l'intensité avec une grande précision, ainsi que je vais le démontrer.

» Considérons donc le cadre de l'appareil shunté par une faible résistance, se déplaçant sous l'influence d'un courant produit par une source de force électromotrice E.

» Le travail moteur Δw est, à chaque instant, égal à la somme des travaux absorbés par la force contre-électromotrice et par le fil de torsion.

$$\Delta w = Hl\frac{E}{R}\Delta\delta = Hl\frac{e}{R}\Delta\delta + C\delta\Delta\delta$$

H représentant le champ magnétique, $l\Delta\delta$ la variation de la surface de la bobine dans le temps Δt et C le couple de torsion.

» Si l'on remarque que $e = \frac{\Delta\delta}{\Delta} Hl$, c'est-à-dire vHl, v étant la vitesse du cadre à l'instant Δt, on voit que

$$E = Kv + C'\delta.$$

en faisant entrer dans les constantes K et C′ les quantités invariables.

» Si nous laissions à ce moment l'appareil revenir au zéro, il prendrait une vitesse opposée sous l'influence de la force $C'\delta$, telle que

$$C'\delta = e'\frac{Hl}{R},$$

e' étant la nouvelle force contre-électromotrice donnant naissance au courant qui dissipe le travail accumulé dans la suspension; la bobine se déplaçant dans le même champ qu'à l'aller, on pourra écrire

$$C'\delta = Kv',$$

la constante K affectant la vitesse de retour étant la même que précédemment.

» De sorte que finalement, si l'on pouvait connaître v'; on aurait

$$E = K(v + v').$$

(1) *Comptes rendus*, t, CXXVI, p. 1392, séance du 5 juin 1899.

(2) *Comptes rendus*, 13 mars 1899. — *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 510, 1er avril 1899.

» II. Pour appliquer ces considérations qui ne sont rigoureuses d'ailleurs que si le moment d'inertie de la bobine est très faible et les vitesses petites, il suffit d'observer la vitesse avant, pendant et après le passage du courant.

Soient v_0, v_1 et v_2 ces trois vitesses, on a

$$E = K\left(v_1 + \frac{v_0 + v_2}{2}\right).$$

» Ceci n'est vrai en toute rigueur que si l'on peut confondre avec leurs tangentes les courbes exponentielles représentant les vitesses de déplacement en fonction du temps.

» Cette méthode est analogue, comme on voit, à celles qui sont employées en calorimétrie, où la vitesse d'échauffement est corrigée par l'observation du refroidissement avant et après la mesure.

» Le calorimètre réduit en eau est représenté ici par le produit H*l* et le pouvoir émissif par le couple de torsion C; les formules représentant ces deux phénomènes sont tout à fait parallèles.

» III. *Résultats numériques.* — L'appareil que j'ai fait construire n'a que 30 ohms de résistance, la bobine mobile pèse environ 3 gr, elle est suspendue à un fil d'argent de 0,032 mm, ayant 60 cm de longueur.

» Une différence de potentiel de 0,000001 volt aux bornes de l'appareil, ce qui fait une intensité de 0,00000003 ampère dans le cadre, communique à l'index lumineux une vitesse corrigée de 6,75 mm par minute. Si l'on considère que la lenteur du déplacement permet d'apprécier facilement 0,2 mm, et qu'on peut sans crainte doubler la durée de l'observation, on voit qu'on peut apprécier un courant dix fois plus faible.

» L'expérience m'a montré la proportionnalité absolue des vitesses aux courants pour des vitesses variant de 6 mm à 600 mm par minute. »

Expériences sur l'interrupteur de Wehnelt;

Par A.-G. Rossi [1].

Les électrodes en platine soudées dans le verre ont toujours une existence éphémère; les vibrations violentes auxquelles est soumis le tube ne tardent pas à le faire éclater. Pour supprimer l'emploi du verre, M. Rossi soude le fil de platine à un fil de cuivre long d'une dizaine de centimètres : l'électrolyte de la cuve est recouvert d'une couche de 8 à 10 cm d'épaisseur soit d'huile d'olive, soit de pétrole; la soudure et une portion du fil de platine restent plongées dans cet isolant. Ce dispositif permet de plus de faire varier la longueur du fil plongé dans l'électrolyte. Comme cathode on peut employer une spirale plate de tube en plomb, parcourue par un courant d'eau froide.

Le son rendu par l'interrupteur est, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus élevé que le fil est plus fin; si on augmente la longueur du fil immergée, le son devient plus grave, et l'étincelle secondaire, au lieu de rester nourrie et continue, en forme d'arc très instable et de température élevée, se divise en un faisceau d'étincelles grêles, blanches. Pour un même fil de platine, le son s'abaisse quand on augmente la distance explosive. Avec un fil dont la partie plongée est trop longue pour qu'on obtienne des interruptions régulières, on observe dans le liquide des explosions sourdes qui secouent fortement le liquide et tout l'appareil.

En communiquant au fil des secousses rapides et de petite amplitude, on provoque des interruptions plus régulières et qui se continuent même quand l'électrolyte est devenu très chaud.

D'après les théories qui ont été données jusqu'à présent pour expliquer le fonctionnement de l'interrupteur Wehnelt, la gaine gazeuse qui entoure l'anode constituerait en somme un arc voltaïque s'allumant et s'étei-

(1) *Atti della R. Acc. della Scienze di Torino*, t. XXXIV, avril 1899.

gnant alternativement. Si cette manière de voir est exacte, l'action d'un champ magnétique normal à la direction du courant dans l'électrolyte doit avoir pour résultat de supprimer et de rétablir le courant avec une rapidité plus grande.

Quelques expériences effectuées par M. Rossi avec des moyens restreints, ont suffi cependant à démontrer qu'il en est ainsi : il faut remarquer du reste que l'effet est en partie masqué par les mouvements tourbillonnaires qui agitent le liquide.

L'anode formée comme d'ordinaire, d'un fil de platine de 2,5 cm de long et de 0,3 mm de diamètre est plongée dans une cuve en verre de $4 \times 11 \times 14$ cm ; cette cuve est disposée entre les armatures d'un électro-aimant distantes entre elles de 4 cm ; la pointe du fil en face du centre des armatures. Le circuit de l'interrupteur renferme une force électromotrice de 56 volts.

Tant que la distance explosive dans le circuit secondaire de la bobine est petite, on n'observe pas de changement appréciable dans le caractère de l'étincelle, sous l'action du champ magnétique : mais le son de l'interrupteur se modifie un instant après l'établissement du champ. La plupart du temps, surtout si le liquide est déjà chaud, le son s'affaiblit, mais en même temps devient plus aigu : cette variation de hauteur est prononcée surtout au début, quand le liquide est encore froid. Cependant dans quelques expériences, le son parut devenir plus grave quand la distance explosive était petite ou nulle.

Par contre, le phénomène devient très net, quand la distance explosive est assez grande pour que l'étincelle n'éclate que difficilement ou qu'il ne se produise plus que des effluves. Au moment où on excite le champ magnétique, on observe un flux d'étincelles blanches, brillantes, qui cessent dès qu'on supprime le champ. Le son de l'interrupteur qui est très grave quant la distance explosive est grande, devient encore plus grave quand le champ magnétique agit, et il en est de même du son de la décharge.

Dans les expériences de M. Rossi, la distance explosive etait de 24 à 25 cm, et il ne passait entre les pôles du secondaire que des effluves partant des points saillants, et de temps à autre une étincelle ramifiée ; quand on fermait le circuit de l'électro-aimant, les étincelles réapparaissaient nombreuses et bruyantes.

L'expérience réussit bien avec un pôle en pointe et un pôle en boule.

La différence de potentiel aux bornes du primaire tombe de 78 volts à 70, quand on établit le champ; aux bornes de l'interrupteur électrolytique, elle est de 54 à 55 volts quand le circuit secondaire est fermé, de 95 volts quand il est ouvert, et la distance entre les pôles suffisante pour que la décharge se fasse par effluves ; sous l'action du champ magnétique elle s'abaisse à 75 ou 80 volts, et le courant primaire augmente de 3,5 à 5 ampères.

L'action du champ magnétique augmente donc, comme il était prévu, la différence de potentiel aux pôles du secondaire, puisque la décharge par effluve fait place à la décharge par étincelle : mais cette décharge devrait diminuer la réaction du secondaire, et par suite accroître la fréquence.

Or c'est le contraire qu'on observe, car le son de l'interrupteur devient plus grave. Cette contradiction trouve peut-être son explication dans les mouvements tourbillonnaires qui agitent le liquide, mouvements qui ont pour axe la direction du champ magnétique. En particulier, ces mouvements doivent avoir pour effet d'augmenter la résistance électrique de l'électrolyte, en déformant et allongeant les trajectoires des ions ou groupes d'ions.

Lorsqu'on met en marche l'interrupteur avec une force électromotrice élevée et l'électrolyte étant froid, le son, au bout de quelques instants, devient plus aigu et les étincelles augmentent de volume et d'éclat.

Cette circonstance est un inconvénient quand on emploie l'interrupteur au pétrole décrit plus haut : aussi si l'on veut opérer pen-

dant quelque temps avec une force électromotrice élevée, il faut refroidir l'électrolyte : le mieux est de prendre pour cathode un tube de plomb enroulé en spirale plate, que parcourt un courant d'eau froide. Il est bon que ce tube de plomb ne traverse pas la couche de pétrole, mais pénètre dans la cuve par deux tubulures latérales, pour diminuer les courants de convection. Le refroidissement est plus efficace encore, si l'on dispose la spirale de plomb au-dessus de la pointe de platine à 1 cm environ de la surface de séparation entre le pétrole et l'électrolyte.

M. Armagnat [1] a observé que la force électromotrice nécessaire au fonctionnement de l'interrupteur Wehnelt dépend de la température de l'électrolyte. M. Rossi a étudié cette influence de la température sur son interrupteur platine et cuivre. Pour obtenir un jeu régulier, avec une grande force électromotrice, il faut refroidir le liquide : pour une longueur déterminée de platine immergé, la fréquence des interruptions croît avec la température jusqu'à une certaine valeur de celle-ci : au delà, le jeu de l'interrupteur devient irrégulier, à moins qu'on ne diminue la distance explosible dans le circuit secondaire. Avec un fil d'une longueur totale de 5 cm, de 0,6 mm de diamètre et plongé sur la moitié de sa longueur, on ne peut dépasser 90° avec 75 volts. Au-dessus de cette température, en diminuant de 9 en 9 le nombre des accumulateurs, on peut raccourcir progressivement la longueur de fil immergée et atteindre ainsi une force électromotrice de 20 à 22 volts, en maintenant une régularité suffisante : mais le son de l'interrupteur devient de plus en plus grave.

Dans une autre série d'expérienees, 5 fils identiques (2cm $\times$ 0,3 mm) soudés dans de petits tubes de verre étaient disposés dans le même vase, au-dessus d'une couche de mercure servant de cathode. La température initiale de l'électrolyte était de 25° et la force électromotrice de 75 volts ; pour une distance explosive de 3 cm, dans le secondaire, on ne peut dépasser la température de 87° ; au delà il faut abaisser la force électromotrice à 35 volts. Le son caractéristique de l'interrupteur reprend alors, mais notablement plus grave. Si l'on supprime successivement un, deux... fils, le fil devient de plus en plus aigu, mais en s'affaiblissant, et les décharges deviennent moins nourries ; avec un ou deux fils on peut faire fonctionner encore l'interrupteur avec 18 volts, mais le rendement de la bobine est alors très médiocre : la fréquence est devenue comparable à celle des interrupteurs mécaniques les plus imparfaits.

Des expériences comparatives effectuées sur des fils de différentes dimensions, il résulte que, pour un fil donné et une force électromotrice donnée, il existe deux limites de température de l'électrolyte en dehors desquelles l'interrupteur ne fonctionne plus régulièrement. Ces limites de température dépendent aussi de la distance explosive dans le secondaire.

Il est à noter aussi que les fils longs de plus d'un centimètre deviennent subitement incandescents auprès de leur soudure au verre, quand l'électrolyse simple fait place à l'incandescence et que cette incandescence se propage vers l'extrémité du fil ; peu après se produit le phénomène de Wehnelt, qui commence à l'extrémité du fil, tandis que l'incandescence cesse au voisinage du verre.

Il semble donc que le passage de l'électrolyse simple au phénomène de Wehnelt se fait plus difficilement à la pointe du fil qu'à la partie supérieure. Aussi tandis que les points du platine les plus élevés se trouvent les premiers à découvert dans une gaine gazeuse, les points les plus bas continuent à être le siège du dégagement de gaz et restent plus ou moins en contact avec le liquide : la portion supérieure du fil doit donc transporter tout le courant et par suite est bientôt portée à l'incandescence : il y a dépense d'énergie dans cette incandescence et la différence du potentiel n'est pas encore suffisante pour permettre à la décharge de se faire

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 157.

sous forme d'un arc à travers la gaine gazeuse. Lorsque la température de l'électrolyte est devenue suffisamment élevée pour que la gaine gazeuse puisse s'étendre sur toute la longueur du fil, toute l'énergie se dépense dans cette gaine, le fil cesse d'être incandescent et le phénomène de Wehnelt se produit dans toute l'étendue du fil.

L'action du champ magnétique est plus marquée quand l'interrupteur fonctionne avec une faible force électromotrice à température élevée. Voici, par exemple, les résultats de l'une des expériences effectuées avec une force électromotrice de 12 volts.

La température initiale était de 35°; jusqu'à 57°, on n'observe que l'électrolyse ordinaire, accompagnée de temps à autre d'un bruissement dans l'intérieur du liquide; vers 59°, ces bruissements deviennent plus fréquents : ils se produisent pareillement aux pôles du secondaire, indiquant que la decharge se produit par effluves ; si l'on excite le champ magnétique, les bruissements internes du liquide cessent au bout d'un instant. Aux environs de 65°, les explosions se multiplient; le champ magnétique les arrête nettement. A 76-77°, le bruit devient irrégulier et dans le secondaire, on n'a plus que des effluves intermittents; sous l'action du champ magnétique, ces effluves font place à des étincelles.

A 80-81°, le bruit cesse aux pôles du secondaire; sur le fil, le phénomène Wehnelt s'accentue; en excitant le champ, on rétablit le bruit, mais plus grave, et de vives étincelles éclatent entre les boules du micromètre.

Vers 86-87°, l'interrupteur fonctionne moins régulièrement ; la décharge reste obscure et le champ magnétique n'a plus d'action : la différence de potentiel aux pôles est de 22 volts.

Ensuite on fait refroidir l'électrolyte.

A 84°, dans le champ magnétique, on observe le bruit seulement.

A 81°,5, dans le champ, on a le bruit et aussitôt des étincelles synchrones.

A 78°, dans le champ, un bruit prolongé, puis quelques rares étincelles.

A 72°, toujours dans le champ magnétique, le bruit est moins fort et les étincelles moins vives ; quand on supprime le champ, le bruit est moins fréquent.

A 65°, sans le champ, le bruit s'accentue ; la décharge reste obscure; dans le champ magnétique, le bruit cesse et les étincelles éclatent aux pôles du secondaire.

A 62-61°, le champ magnétique fait cesser le bruit ; on observe encore quelques étincelles.

A 52°, il ne se produit plus que l'électrolyse ordinaire avec quelques rares explosions ; le champ magnétique fait réapparaître le bruit ; la différence de potentiel aux pôles est de 10 volts.

En élevant de nouveau la température, on repasse par la même succession de phénomènes.

En résumé, le champ magnétique, agissant sur un interrupteur de Wehnelt, tend donc à augmenter la distance explosive dans le secondaire, distance qui croît avec la rapidité des variations du courant primaire.

M. L.

Note sur l'ensemble complet des équations de l'électrodynamique d'un milieu matériel en mouvement ;

Par J. Larmor [1].

Cette note forme un suplément au troisième mémoire de M. J. Larmor sur la théorie dynamique de l'éther [2]. Ce n'est que là que les formules proposées prennent leur forme définitive. Aussi notre analyse se bornera-t-elle à la note, sans parler du mémoire dont elle est le complément.

M. Larmor se rapproche ici beaucoup des résultats de M. Lorentz, tels que nous les avons exposés dans ce journal (*Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 417). Pour faciliter la

(1) Communication faite le 26 mai 1898 à la *Royal Society*.

(2) A dynamical theory of the electric and luminiferous medium, part. III. — Relations with material media, Phil. Trans. A. 1897, p. 205-300.

comparaison nous emploierons les notations de M. Lorentz [1].

Larmor remarque qu'une partie du courant de déplacement, partie admettant pour projection sur l'axe des x : $\frac{\partial}{\partial y}(M_x\eta - M_y\xi) - \frac{\partial}{\partial z}(M_z\xi - M_x\zeta)$ est équivalente à une aimantation de composantes

$$M_y\zeta - M_z\eta, \quad M_z\xi - M_x\zeta, \quad M_x\eta - M_y\xi.$$

Cette *quasi*-aimantation s'ajoute à l'aimantation vraie A_1, B_1, C_1 pour donner l'aimantation apparente A, B, C.

La somme totale des courants de conduction, de convection, de déplacement, tant dans l'éther que dans le diélectrique, et du courant équivalent à l'aimantation sera

$$u + \frac{\partial C_1}{\partial y} - \frac{\partial B_1}{\partial z} + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\delta M_x}{\partial t} - \left(M_x\frac{\partial\xi}{\partial x} + M_y\frac{\partial\xi}{\partial y} + M_z\frac{\partial\xi}{\partial z}\right) + \xi\left(\frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial z}\right).$$

A remarquer qu'ici Larmor, qui dans ses mémoires antérieurs faisait son $\frac{\delta}{dt}$ égal à notre $\frac{d}{dt}$ c'est-à-dire à

$$\frac{\partial}{\partial t} + \xi\frac{\partial}{\partial x} + \eta\frac{\partial}{\partial y} + \zeta\frac{\partial}{\partial z},$$

pose au contraire

$$\frac{\delta M}{dt} = \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(\xi M)}{\partial x} + \frac{\partial(\eta M)}{\partial y} + \frac{\partial(\zeta M)}{\partial z}$$

de sorte qu'en se rappelant que l'on a la relation

$$f = \frac{\partial(f + M_x)}{\partial x} + \frac{\partial(g + M_y)}{\partial y} + \frac{\partial(h + M_z)}{\partial z}, \quad (1)$$

admise par Larmor et par Lorentz (*loc. cit.*, équation 2, page 419), l'expression précédente devient

$$u + \frac{\partial C_1}{\partial y} - \frac{\partial B_1}{\partial z} + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial M_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y}(M_x\eta - M_y\xi) - \frac{\partial}{\partial z}(M_z\xi - M_x\zeta) + \rho\xi \quad (2)$$

ce qui n'est autre que le facteur de 4π au second membre de l'équation IV de Lorentz (*loc. cit.*, p. 419). Larmor égale d'ailleurs l'expression (2) à $\frac{1}{4\pi}\left(\frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial b}{\partial z}\right)$. La seule différence entre les résultats de Larmor et de Lorentz est que ce dernier supposait l'aimantation vraie nulle et qu'alors l'induction a, b, c pouvait être remplacée par la force magnétique.

En posant

$$\alpha = a - 4\pi A = a - 4\pi A_1 - 4\pi(M_y\zeta - M_z\eta).$$

Larmor peut encore écrire

$$\frac{\partial\gamma}{\partial y} - \frac{\partial\beta}{\partial z} = 4\pi\left[u + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial M_x}{\partial t} + \rho\xi\right].$$

Soient P′, Q′, R′ les composantes de la force électrique dans l'éther, et P, Q, R celles de la force dans la matière. P′, Q′, R′ sont égaux à $4\pi V^2 f$, $4\pi V^2 g$, $4\pi V^2 h$. P, Q et R différeront de P′, Q′, R′, en vertu des lois de l'induction produite par déplacement, par des termes $c\eta - b\zeta$, $a\zeta - c\xi$, $b\xi - a\zeta$. P, Q, R ne sont autres que nos X, Y, Z [p. 422, form. (14)]. Il faut seulement, comme cela doit être évidemment, remplacer α, β, γ par l'induction a, b, c, de même que dans les équations III et V de la page 419. V peut s'écrire

$$\frac{\partial R'}{\partial y} - \frac{\partial Q'}{\partial z} = -\frac{\partial a}{\partial t}$$

ou

$$\frac{\partial R}{\partial y} - \frac{\partial Q}{\partial z} = -\frac{\partial a}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y}(b\xi - a\eta) - \frac{\partial}{\partial z}(a\zeta - c\xi) = -\frac{\delta a}{dt} + \left(a\frac{\partial}{\partial x} + b\frac{\partial}{\partial y} + c\frac{\partial}{\partial z}\right)\xi$$

en tenant compte de ce que le vecteur a, b, c est solénoïdal (équation III). Nous retombons ainsi sur une des formules de Larmor.

Les formules de Lorentz et de Larmor conduisent donc aux mêmes résultats pour l'état du champ magnétique et électrique produit par des corps en mouvement. La concordance n'est plus aussi parfaite en ce

[1] p, q, r composantes de la vitesse d'un point seront ainsi remplacées par ξ, η, ζ ; f', g', h' composantes de la polarisation, deviendront M_x, M_y, M_z, u' courant de conduction deviendra simplement u.

qui concerne les forces pondéromotrices que les corps éprouvent de la part du champ.

Dans la théorie de Lorentz, on a (*loc. cit.*, p. 456) comme expression de la force F par unité de volume

$$F_x = P(\rho - S) + \gamma v' - \beta w'$$

formule où u', v', w' représente la somme des courants de conduction et de déplacement dans le diélectrique, et où $-S$ est la densité d'électricité équivalente à la polarisation du diélectrique. On peut encore écrire.

$$F_x = P'(\rho - S) + \gamma v'' - \beta w''$$

u'', v'', w'' comprenant maintenant les courants de convection dus aux charges ρ et $-$ S. En développant

$$F_x = \gamma\left[v + \frac{\partial M_y}{\partial t} + \rho\eta + \frac{\partial}{\partial z}(M_y\zeta - M_z\eta) - \frac{\partial}{\partial x}(M_x\eta - M_y\xi)\right]$$
$$-\beta\left[w + \frac{\partial M_z}{\partial t} + \rho\zeta + \dots\right] - P'S + P'\rho$$
$$= \gamma\left[v + \frac{\partial M_y}{\partial t} + \rho\eta\right] - \beta\left[w + \frac{\partial M_z}{\partial t} + \rho\zeta\right]$$
$$+ \gamma\left\{\frac{\partial}{\partial z}(M_y\zeta - M_z\eta) - \frac{\partial}{\partial x}(M_x\eta - M_y\xi)\right\}$$
$$-\beta\{\dots\} - P'S + P'\rho.$$

Quant à Larmor il pose

$$F_x = \gamma\left[v + \frac{\partial M_y}{\partial t} + \rho\eta\right] - \beta\left[w + \frac{\partial M_z}{\partial t} + \rho\zeta\right]$$
$$+ A\frac{\partial \alpha}{\partial x} + B\frac{\partial \alpha}{\partial y} + C\frac{\partial \alpha}{\partial z}$$
$$+ M_x\frac{\partial P'}{\partial x} + M_y\frac{\partial P'}{\partial y} + M_z\frac{\partial P'}{\partial z} + P'\rho.$$

Les premières lignes des expressions de F_x sont identiques. Les deuxièmes diffèrent parce que Larmor tient compte des forces qui agissent sur l'aimantation vraie et aussi parce qu'il remplace l'action sur le courant

$$\frac{\partial}{\partial y}(M_x\eta - M_y\xi) - \frac{\partial}{\partial z}(M_z\xi - M_x\zeta)$$

par l'action sur la quasi-aimantation équivalente.

Dans la troisième ligne le terme $-$ P'S représentant l'action de la force électrique P', Q', R' sur la charge $-$ S est remplacé par l'action de cette force sur la polarisation M_x, M_y, M_z. L'une ou l'autre hypothèse sont tout aussi plausibles.

Enfin il faut remarquer que si dans la théorie de Lorentz α, β, γ sont égaux à a, b, c, il n'en est pas de même dans celle de Larmor. Même en supposant la vraie aimantation nulle, α, β, γ différeraient de a, b, c à cause de la quasi-aimantation. On peut donc se demander si dans la formule de Larmor on ne devrait pas remplacer α par a ou encore par $\alpha_1 = a - 4\pi A_1$. En outre les dérivées $\frac{\partial \alpha}{\partial y}$ et $\frac{\partial \alpha}{\partial z}$ pourraient être remplacées par $\frac{\partial \beta}{\partial x}$ et $\frac{\partial \gamma}{\partial x}$. Il y aurait donc là le sujet de toute une discussion dans laquelle nous ne voulons pas nous engager.

Nous ferons remarquer seulement que les actions d'un champ magnétique sur un aimant et sur les courants équivalents, ne sont les mêmes au total (c'est-à-dire en prenant la résultante d'après les règles de la statistique), que si on admet pour ces actions les valeurs

$$A\frac{\partial a}{\partial x} + B\frac{\partial b}{\partial x} + C\frac{\partial c}{\partial x}$$

et

$$cv - bw = c\left(\frac{\partial A}{\partial z} - \frac{\partial C}{\partial x}\right) - b\left(\frac{\partial B}{\partial x} - \frac{\partial A}{\partial y}\right)$$

quantité égale encore à

$$A\frac{\partial a}{\partial x} + B\frac{\partial b}{\partial x} + C\frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial(Ab)}{\partial y} + \frac{\partial(Ac)}{\partial z} - \frac{\partial(Bb)}{\partial x} - \frac{\partial(Cc)}{\partial x}$$

en ajoutant un terme $A\left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial b}{\partial y} + \frac{\partial c}{\partial z}\right)$ identiquement nul.

Variation de la capacité d'un condensateur avec la fréquence des courants alternatifs employés ;

Par J. HANAUER [1].

Pour mesurer la capacité d'un condensateur au moyen du réseau de Wheatstone, des

[1] *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 789-815, 1898.

courants alternatifs et du téléphone, il faut, quand le condensateur présente une certaine conductibilité, modifier les branches de comparaison; autrement il est impossible d'obtenir le silence du téléphone, même avec des courants sinusoïdaux.

Oberbeck dispose une résistance variable r_2 en dérivation sur le condensateur étalon c_2. Si c_1 est la capacité et r_1 la résistance du condensateur étudié, les conditions d'équilibre sont :

$$r_1 = r_2 \qquad c_1 = c_2$$

en supposant que les résistances des deux autres branches du réseau r_3 et r_4 soient égales. Cette résistance de r_1 qu'on attribue au condensateur, n'est pas la plupart du temps une simple résistance ohmique : c'est une manière d'exprimer que la perte d'énergie subie dans le diélectrique du condensateur par un courant d'intensité i est égale à $i^2 r_1$.

Cette méthode d'Oberbeck s'applique bien aux liquides dont la conductibilité est notable. Si la résistance r_1 est de l'ordre du mégohm, il est difficile de réaliser une résistance de compensation r_2 suffisamment constante. Il vaut mieux alors, à l'exemple de Max Wien, mettre la résistance r_2 en série avec la capacité c_2. En supposant toujours que r_3 et r_4 sont égaux, les conditions d'équilibre deviennent dans ce cas :

$$\frac{c_1}{c_2} = 1 - \frac{r_1}{r_2}$$

$$n^2 c_1 c_2 r_1 r_2 = 1$$

n étant le quotient de 2π par la période des oscillations. On tire de ces équations :

$$c_1 = \frac{c_2}{1 + n^2 c^2_2 r^2_2} \qquad r_1 = \frac{1 + n^2 c^2_2 r^2_2}{n^2 c^2_2 r^2_2}.$$

La résistance r_2 doit être dépourvue de self-induction. L'auteur la constitue par des lampes à incandescence dont le filament aussi fin que possible, présente sur une longueur de 15 cm, une résistance de 1,000 à 1,100 ohms. Les extrémités sont recouvertes de cuivre par électrolyse; puis soudées à des fils de cuivre : les résistances inférieures à 100 ohms sont en maillechort, enroulé suivant la méthode de Chaperon. Ces diverses résistances n'ont pas varié avec le temps de plus des 0,004 de leur valeur, ce qui est une constance suffisante pour les mesures dont il s'agit. Quant à la capacité de ces résistances de charbon, elle est moindre que celle des enroulements Chaperon.

Les condensateurs étalons étaient au nombre de deux, formés tous deux de lames d'aluminium avec deux lames de cuivre terminales, le premier avait 40 lames intermédiaires, le second 60. La capacité du premier, comparée à un coefficient de self-induction connu, est de 0,0104 microf. Un autre condensateur à capacité variable d'une manière continue est formé d'un tube de laiton pouvant s'enfoncer plus ou moins dans un autre cylindre, par le moyen d'une crémaillère : la position du tube intérieur se lit sur une échelle divisée : chaque centimètre de déplacement correspond à une variation de la capacité égale à 0,0000099 microf.

Comme indicateur, pouvaient servir trois téléphones optiques de Wien, réglés respectivement pour 128, 256 et 512 vibrations : ce dernier, en changeant la membrane et le miroir se réglait pour 64 vibrations, s'il était nécessaire d'opérer avec une quatrième période. De plus, un téléphone ordinaire était toujours prêt à servir.

La bobine d'induction était munie d'un interrupteur à corde vibrante de Nernst.

Un certain nombre de causes d'erreur sont à éviter. D'abord les sons de la corde vibrante transmis par l'air peuvent influencer les téléphones; de même le son que rendent les lames du condensateur par suite de la charge et de la décharge rapides.

Il est indispensable que tout l'appareil soit parfaitement isolé : il faut éviter aussi d'employer des fils longs conduits parallèlement l'un à l'autre.

La figure 1 représente schématiquement les liaisons. En C_1 se trouve le condensateur dont on cherche la capacité : R_2 est le rhéostat formé de lampes à incandescence, en dé-

rivation sur le condensateur C_2 à lames d'aluminium (ou en série avec lui, suivant la méthode employée); γ est le condensateur cylindrique auxiliaire; les résistances W_3 et

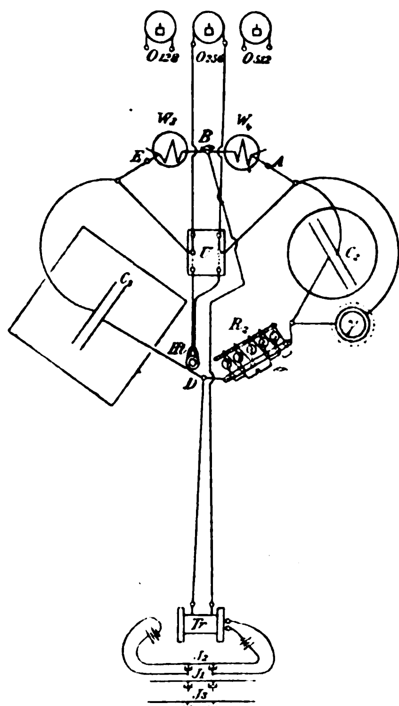


Fig. 1.

W_4 sont constituées par des lampes à incandescence dont la résistance est la même, ainsi que le coefficient de variation avec la température. Les fils venant de la bobine aboutissent en B et en D : de E et de A partent les fils qui aboutissent au commutateur U, et de là aux téléphones O_{128}, O_{256}, O_{512} ou au téléphone ordinaire H.

En J_1 J_2 J_3 sont les cordes de l'interrupteur, correspondant aux trois périodes étudiées.

Résultats : 1. *Corps solides.* — Verre, mica, ébonite, papier paraffiné. La feuille de verre était argentée sur les deux faces, puis l'argent enlevé sur une étroite bande le long des bords. Ce condensateur est placé dans une enceinte métallique reliée au sol. On rend ensuite la capacité de C_2 assez grande pour qu'on puisse, pendant toute l'expérience, établir l'équilibre en ne touchant que γ. En réglant γ, on amène la déviation du téléphone optique à un minimum; puis on réduit cette déviation à zéro en faisant varier la résistance r_2, ce qui exige d'ailleurs encore une petite modification de γ. En réalité on détermine les deux valeurs de r_2, la plus grande et la plus petite pour lesquelles la déviation cesse d'être observable.

Après cette première opération, on remplace C_1 par le condensateur d'aluminium à 40 feuilles, en modifiant convenablement la résistance r_4.

Le réglage de γ s'effectue toujours à quelques millimètres près; l'erreur qui en résulte sur la capacité n'est que de 0,001 pour la plus petite capacité mesurée et est moindre encore pour les capacités plus grandes.

Pour les quatre substances étudiées, la capacité augmente en même temps que la période et cet accroissement est d'autant plus grand que la période est plus longue : en même temps la conductibilité augmente aussi avec la durée de la période. Cette conductibilité n'est pas le résultat d'un défaut d'isolement du diélectrique ou d'une déviation, mais représente une perte d'énergie qui augmente avec la durée de la période et a son origine dans la constitution du diélectrique. Il est à remarquer que les diélectriques étudiés sont ceux qui conservent des charges résiduelles, phénomène que Maxwell attribue à l'hétérogénéité du diélectrique : le cas le plus simple est celui d'un diélectrique à constitution lamellaire.

Un condensateur muni d'un pareil diélectrique lamellaire, peut être remplacé par un condensateur parfait C et par un autre condensateur en série avec le premier, dont la capacité serait c_1 et sur lequel une résistance r_1 serait en déviation. Si la période du courant alternatif employé est $\frac{2\pi}{n}$, le facteur de résistance de la branche du réseau renfermant ce système sera :

$$\frac{1}{inC} + \frac{r_1}{1 + inc_1r_1}.$$

Dans le dispositif expérimental décrit ci-

dessus, on compare ce facteur à celui d'une autre branche dont la capacité et la résistance sont c_2 et r_2 ; l'équilibre correspond à la condition :

$$\frac{1}{inC} + \frac{r_1}{1 + inc_1r_1} = r_2 + \frac{1}{inc_2}.$$

Par conséquent :

$$c_2 = C\,\frac{1 + n^2c^2_1r^2_1}{1 + n^2r^2_1c_1(c_1 + C)} \qquad r_2 = \frac{r_1}{1 + n^2r^2_1c^2_1}.$$

La capacité effective c_2 doit donc augmenter avec n ; d'autre part, l'expression de r_2 montre que le diélectrique lamellaire, s'il ne laisse pas passer un courant continu, possède pour le courant alternatif une conductibilité qui décroît en même temps que n.

2. *Liquides.* — Les mesures sont conduites comme dans le cas des solides : les liquides sont introduits dans une cuve en cuivre, divisée en huit compartiments par des lames de cuivre : entre ces lames on peut intercaler des lames de zinc : ces diverses lames et les parois de la cuve forment les armatures du condensateur. Les expériences ont porté sur le pétrole, la benzine, divers mélanges de benzine et d'alcool éthylique, l'huile de ricin, l'aniline et l'eau.

L'huile de ricin ne présente aucune conductibilité : son pouvoir inducteur est indépendant de la période. Les autres liquides conduisent plus ou moins ; mais ni la conductibilité, ni le pouvoir inducteur ne varient avec la période, chez les liquides mauvais conducteurs, comme le pétrole, la benzine, les mélanges de benzine ou d'alcool renfermant moins de 7 p. 100 d'alcool.

Dans les mélanges de benzine et d'alcool qui renferment plus de 7 p. 100 d'alcool, le pouvoir inducteur augmente notablement avec la durée de la période, sans cependant que la conductibilité efficace varie. Cet accroissement est encore plus marqué dans l'eau et l'aniline.

L'eau se trouvait entre des armatures de platine : l'accroissement de la capacité diminua beaucoup quand ces armatures eurent été platinées : cette circonstance prouve que l'accroissement de la capacité effective est une conséquence de la polarisation. Cette influence de la polarisation est d'autant moindre que les oscillations du courant sont plus rapides, la capacité de polarisation et la résistance plus grandes, ce qui correspond à la formule de correction donnée par Max Wien [1].

Il est à remarquer accessoirement que la règle des mélanges appliquée aux mélanges de benzine et d'alcool ne donne de résultats exacts ni pour le pouvoir inducteur, ni pour la résistance. M. L.

CHRONIQUE

Doit-on donner des noms aux unités C. G. S. électriques et magnétiques ? — Telle est la question que se posent actuellement les électriciens américains et qu'ils résolvent par l'affirmative si l'on en juge par la note éditoriale que publie *The Electrical World and the Electrical Engineer* dans un de ses derniers numéros et dont nous donnons ci-dessous la traduction. On ne manquera pas d'objecter que cette solution est incompatible avec les idées qui ont présidé à la création du système pratique d'unités électriques et contraire aux décisions de plusieurs Congrès, en particulier de celui de Chicago, où il a été convenu que les unités C. G. S. ne porteraient pas de noms particuliers. Mais on connaît le peu de cas que les Américains font des décisions qui ne leur conviennent pas ; on sait en effet que les résolutions du Congrès de Chicago n'ont pas empêché l'Institution of Electrical Engineers des Etats-Unis de donner les noms de Gauss, de Weber, d'Œrstedt et de Gilbert, aux principales unités magnétiques C. G. S., et que ces noms sont

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 463.

entrés dans la pratique, bien que le Congrès de Genève de 1896 ait refusé de les adopter.

Il nous semble donc que les électriciens auraient tort, si, se croyant engagés par des décisions antérieures, ils restaient indifférents aux propositions faites par les Américains; il conviendrait au contraire de les examiner avec soin et de les discuter.

On ne saurait d'ailleurs méconnaître que les arguments invoqués en faveur de ces propositions ont quelque valeur. Il nous parait en effet certain que si les unités C. G. S. avaient des noms on éviterait bien souvent sinon des erreurs grossières, du moins des inexactitudes de langage, et qu'en particulier, si l'unité d'accélération C. G. S. avait un nom, nous n'entendrions plus cette locution fâcheuse : l'accélération due à la pesanteur est de 981 cm. On pourrait, il est vrai, objecter que, lancé dans la voie de donner des noms aux unités C. G. S., on risquera de se trouver entrainé à créer un trop grand nombre de noms nouveaux, ce qui ne manquera pas de donner lieu à des confusions, et qu'il est bien suffisant de créer, comme on l'a fait pour le système pratique électrique, des noms pour certains multiples ou sous-multiples des unités C. G. S. de l'ordre de grandeur des quantités que l'on a couramment à mesurer. Mais d'autre part on conviendra que, lorsqu'on a besoin de passer des unités du système pratique aux unités du système C. G. S. et inversement, le passage ne s'effectue pas, quand on n'a pas sous la main un tableau indiquant les rapports des unités des deux systèmes, sans causes d'erreurs si l'on fait seulement appel à la mémoire ou sans difficultés s'il faut retrouver ces rapports par le calcul, causes d'erreurs et difficultés qui se trouveraient supprimées si les unités C. G. S. avaient des noms et si les unités pratiques étaient désignées au moyen de ces noms et d'un préfixe indiquant la puissance positive ou négative de 10 par laquelle il faut multiplier une unité C. G. S. pour avoir l'unité pratique correspondante. Or c'est précisément cette solution que préconise *The Electrical World and the Electrical Engineer*, dans la note à laquelle nous faisions allusion en débutant.

« Les éminents électriciens de la *British Association* qui, il y a trente-cinq ans, furent chargés d'établir un système universel d'unités électromagnétiques, méritent, dit cette note, toute notre gratitude pour nous avoir donné le système centimètre-gramme-seconde... Mais si ce système ne donne prise à aucune critique sérieuse après plus de trente années d'usage, il n'en est malheureusement pas de même d'une autre partie du travail de la *British Association*. Au lieu de se contenter, comme elle aurait dû le faire, d'établir les bases du système C.G.S., elle a édifié le système, soi-disant pratique, d'unités électro-magnétiques, qui dérive du premier et qui est quelquefois appelé système quadrant — gramme $\times 10^{-11}$ — seconde parce que ses unités sont celles d'un système de mesure où l'unité de longueur serait la longueur du quart du méridien terrestre, l'unité de masse la masse du billionnième de centigramme, et l'unité de temps la seconde sexagésimale du jour solaire moyen.

» L'objet qu'avaient en vue les fondateurs du système pratique était la simplification, puisque le volt, l'ampère et l'ohm sont du même ordre que les grandeurs correspondantes qu'ont à considérer les électriciens. Mais il n'était nullement nécessaire de créer un nouveau système pour satisfaire à cette condition, et l'expérience s'est chargée de montrer que le nouveau système n'y satisfait d'ailleurs pas entièrement. Le farad, par exemple, est beaucoup trop grand pour les électriciens, aucun d'eux ne possédant de condensateurs ou même de séries de condensateurs dont la capacité s'élève à un seul farad et c'est la millionnième partie de cette unité, le microfarad, qui est utilisée dans les expressions numériques des capacités. Le mot microfarad est donc réellement pour l'électricien le nom de l'unité qui lui convient par sa grandeur. Ceci montre péremptoirement que la British Association n'avait qu'à donner des noms aux unités C. G. S. et à proposer des préfixes pour désigner les multiples ou sous-multiples de 10 qui n'en ont pas. Ainsi si l'unité C. G. S. d'intensité de courant avait reçu un nom, le « flu », par exemple, ce que nous appelons l'ampère eût été le « déciflu », et si le praticien avait trouvé ce sous-multiple convenable pour ses travaux il eût écrit et dit « déciflus » comme aujourd'hui il écrit et dit ampères. Il eût été d'ailleurs plus satisfait qu'il ne l'est aujourd'hui, car il eût pu choisir la grandeur de son unité pratique suivant ses besoins et cette considération n'est pas à dédaigner car l'ampère est trop petit pour le directeur d'une usine et trop grand pour le physiologiste. Cette manière de faire présenterait en outre ce grand avantage que toutes les unités pratiques, telles que déciflu par exemple, se trouveraient par leur nom même référées au flu, c'est-à-dire à l'unité C. G. S. tandis qu'actuellement les évaluations faites avec l'ampère se rapportent directement au système quadrant — gramme $\times 10^{-11}$ — seconde et par conséquent

exigent une étude et un effort pour les réduire au système fondamental C. G. S.

» Plus nous développons l'électromagnétisme appliqué, plus nous sommes gênés par le système pratique d'unités, fâcheux et entièrement inutile. Pourquoi impose-t-on à l'étudiant la connaissance des deux systèmes? S'il devient familier avec le système ampère-volt-ohm, il perd de vue le système fondamental auquel cependant doivent être rapportés tous les calculs électromagnétiques; et s'il se sert du système C. G. S., il est ennuyé de constater que les unités de ce système n'ont pas de nom et ne sont que des abstractions. Comme nous devons rapporter toutes nos mesures et observations au système fondamental C. G. S., il faut par conséquent rendre ce système pratique et convenable pour les praticiens qui n'ont ni le temps ni l'inclination pour s'occuper de théorie ou de science. Mais il est nécessaire cependant de ne pas éloigner le praticien du temple de la science dont les portes doivent toujours être ouvertes à ceux qui désirent y rentrer. Or donner aux praticiens des unités quadrant-gramme $\times 10^{-11}$ — seconde, c'est lui fermer la réelle connaissance scientifique de la science qu'il applique. Il y a là en effet quelque chose d'analogue à ce qui se passe en Chine où la langue écrite n'est pas parlée et où la langue parlée ne s'écrit pas; notre langage écrit, c'est le système C. G. S. des mathématiques; notre langage parlé, c'est le système pratique quadrant-gramme $\times 10^{-11}$ — seconde.

» Le remède à cet état de choses est cependant simple et mérite d'attirer l'attention d'un prochain congrès électrique. Donnons des noms aux unités C. G. S. et donnons aussi des noms à un système complet de puissances positives et négatives de 10 jusqu'à la quinzième ou la vingtième. Il importe peu que les noms des unités soient ceux d'électriciens éminents ou qu'ils soient tirés des langues mortes. Ce qui importe seulement, c'est qu'ils soient clairs, courts, monosyllabiques ou au plus disyllabiques. Il ne sera pas nécessaire d'ailleurs de connaitre à la fois les noms des deux systèmes; le praticien ne les apprendra pas s'il n'éprouve pas le besoin de le faire. Il sera suffisant d'en faire la référence dans les formulaires. La prochaine génération d'étudiants se réjouira d'adopter les nouveaux noms et en même temps le vieux système pratique cédera peu à peu la place en faveur du système C. G. S. En d'autres termes l'ampère ne sera plus que rarement employé, tandis que le déciflu ou tout autre nom sera utilisé non seulement par les savants, mais aussi par les praticiens avec grands avantages pour les uns et les autres. Comme autre exemple, prenons le joule; il vaut 10 000 000 d'ergs. Si le préfixe pour 10 millions ou 10^7 est « sept », on l'appelera le septerg. Quant les savants et les étudiants se seront accoutumés à se servir de ce terme, tous les calculs faits au moyen de cette unité pourront être immédiatement exprimés en unités C. G. S. Le praticien continuera à employer le mot joule comme auparavant, deux mots servant à désigner la même quantité jusqu'à ce que les avantages que présente l'emploi des unités C. G. S. aient fait disparaitre l'usage du mot joule. D'ailleurs, si ce dernier mot ne disparaît pas, aucun étudiant n'éprouvera de difficulté à retenir qu'un joule est un septerg.

» En résumé, nous ne manquons pas d'unités; le système C. G. S. nous les donne toutes. Mais nous manquons de noms pour désigner ces unités, en faire quelque chose de plus que des abstractions mathématiques et leur donner la dignité de quantité concrète. Il ne peut y avoir aucun inconvénient à créer ces mots. Le pis qu'il puisse arriver, est que que leur usage ne se répande pas, mais ce n'est pas à craindre, car les praticiens et les élèves des cours électrotechniques seront trop heureux de s'en servir. Qu'en pense le prochain congrès électrique? »

Nous ne discutons pas pour le moment les avantages et les inconvénients qui résulteraient de l'adoption de ces propositions. Nous estimons qu'il est préférable que chacun se forme une opinion personnelle sur ce sujet, car bien que les arguments présentés à l'appui de ces propositions méritent d'être pris en considération, comme nous le disions au début, il ne faut pas se dissimuler que leur adoption amènerait, pendant quelque temps du moins, une confusion dans les idées de ceux qui ne sont pas très familiarisés avec les grandeurs électriques.

Transformateurs de courant continu à très grande vitesse. — Lorsqu'on compare les devis d'installation d'une transmission d'énergie par courants alternatifs et d'une transmission par courant continu devant l'une et l'autre alimenter un réseau à bas potentiel, on constate que la différence entre les dépenses provient principalement des appareils de transformation.

On peut, en effet, évaluer à 2 500 fr par kilowatt le prix d'un transformateur de courant continu à haute tension en courant continu à basse tension ou inversement, tandis que le prix d'un transformateur

pour courants alternatifs n'est environ que de 500 fr par kilowatt, soit à peu près un cinquième du prix précédent. Ainsi, pour une puissance de 50 kilowatts, un transformateur à courants alternatifs coûte 2 600 fr et un transformateur à courant continu 13 000 fr.

Dans un article publié dans *The Electrician* du 23 juin, M. Ernest Kilburn Scott établit qu'il serait possible d'abaisser considérablement le prix de revient des transformateurs à courant continu en leur donnant une vitesse beaucoup plus grande que les vitesses utilisées actuellement dans ces appareils.

Les premiers transformateurs de courant continu en courant continu de tension différente consistant en un groupe de deux dynamos, l'une motrice, l'autre génératrice, accouplées par courroies, la vitesse de rotation se trouvait limitée par la nécessité d'empêcher le glissement des courroies d'accouplement. Lorsqu'on réunit sur une même armature l'enroulement moteur et l'enroulement générateur (ce qui diminua l'encombrement et le prix de revient et augmenta le rendement) on continua à employer les mêmes vitesses, celles que la pratique a fait préférer pour les dynamos et pour les moteurs; ainsi le nombre de tours par minute est d'environ 1 200 pour les transformateurs de 10 kilowatts, de 950 pour ceux de 20 kilowatts, de 750 pour ceux de 30 kilowatts, et tombe à 550 pour les transformateurs de 50 kilowatts. Rien ne justifie l'emploi de vitesses aussi faibles dans des appareils, comme les transformateurs rotatifs actuels, dont l'arbre ne porte aucune poulie de transmission.

Dans ces appareils la vitesse n'est en effet limitée que par la résistance mécanique des bobinages des armatures et par la nécessité d'éviter l'échauffement des paliers. Or, d'une part, les fils d'acier employés pour la confection des frettes des armatures lisses permettent d'arriver sans inconvénient jusqu'à des vitesses linéaires de 3 000 m par minute et les armatures à trous peuvent supporter des vitesses encore plus grandes; d'autre part la réalisation pratique d'appareils tournant avec des vitesses angulaires de 3 000 à 4 000 tours par minute est démontrée par diverses pompes centrifuges et par les turbines à vapeur.

M. Scott estime donc que rien n'empêcherait de construire des transformateurs tournant à raison de 3 000 à 4 000 tours par minute, surtout si, au lieu de disposer l'axe de rotation horizontalement, on le disposait verticalement comme il le propose. Avec une vitesse angulaire de 4 000 tours par minute au lieu de la vitesse ordinairement utilisée de 750 tours par minute, un transformateur de 30 kilowatts aurait des dimensions quatre fois moins grandes; son encombrement, en disposant l'axe verticalement, deviendrait alors comparable à celui d'un transformateur à courants alternatifs; d'un autre côté son prix de revient se trouverait diminué des trois quarts au moins.

M. Scott est convaincu qu'il y a lieu de faire des recherches dans cette voie et que ces recherches aboutiraient à une solution satisfaisante. Il a lui-même établi un projet de transformateur à grande vitesse à axe vertical; il pense qu'il serait facile de diminuer la pression du pivot sur la crapaudine, en disposant les enroulements de manière que le champ inducteur tende à soulever l'armature, et que, si les commutateurs ordinaires ne donnaient pas satisfaction à ces grandes vitesses, on pourrait sans doute les remplacer avantageusement par des collecteurs radiaux. Il fait d'ailleurs observer que les avantages de l'emploi des grandes vitesses angulaires dans les transformateurs pour courants continus se retrouvent aussi dans d'autres appareils accessoires des distributions, comme les survolteurs et les égalisateurs de tension des réseaux à plusieurs ponts.

Ces remarques de M. Scott, viennent à l'appui de celles qu'a faites M. Swinburne dans la conférence à l'Institution of Civil Engineers, analysée dans notre dernière chronique (t. XIX, p. 521) et montrent que malgré l'engouement actuel pour les transmissions d'énergie par courants alternatifs les transmissions par courant continu n'ont pas dit encore leur dernier mot.

Sur les aciers à aimant. — On sait que la condition nécessaire et suffisante pour qu'un acier fondu puisse fournir un aimant permanent utilisable est que les points de transformation en soient amenés ou placés au-dessous de 350° environ et au-dessus de la température la plus basse à laquelle le métal sera soumis.

Cette condition peut être réalisée de deux manières : 1° par la trempe des aciers à base de carbone; 2° par l'addition, en proportions convenables, de certains corps étrangers (Mn, Ni, Cr, Tu) qui, par eux-mêmes ou par leur action sur le carbone, abaissent suffisamment, pendant le refroidissement lent à partir d'une température suffisante, les points de transformation du fer.

Les aciers à aimants qui doivent leurs propriétés à la trempe ont fait le sujet d'un travail étendu et très bien conduit de Mme Curie (*Écl. Élect.*, t. XV, p. 471 et 501 et t. XVI, p. 117).

Les aciers du second groupe ont été moins étudiés. Ils sont représentés dans le Mémoire de Mme Curie par un type à 7,70 de tungstène ; mais ce groupe comprend aussi les aciers de 10 à 25 environ de nickel. de 3,5 à 7,5 environ de manganèse, de 5 à 15 environ de chrome, en un mot tous les aciers qui prennent spontanément des propriétés analogues à celles des aciers trempés et que, pour cette raison, on appelle en anglais *self-hardening*, expression dont l'équivalent français serait à peu près *quasi trempés*. Comme les aciers trempés, les aciers *quasi trempés* possèdent, en général, un état dur et un état doux : ils prennent leur état dur quand on les laisse refroidir à partir d'une température supérieure à leurs points de transformation pendant le chauffage, et on les adoucit en les faisant *revenir* au-dessous de ces points de transformation.

L'étude d'un tel métal comporterait donc la double recherche du traitement qui donne les meilleures qualités magnétiques et de celui qui permet le travail mécanique d'ajustage. Mais les procédés d'adoucissement sont déjà connus et c'est surtout le traitement pour aimants qui reste à déterminer.

M. Osmond vient de faire connaître à l'Académie des sciences (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1513, séance du 19 juin) les résultats des essais qu'il a faits dans cette direction.

« Les échantillons examinés, empruntés aux collections de M. Hadfield, avaient respectivement les compositions et les dimensions indiquées dans le tableau suivant :

	C	Mn	Ni	POIDS	LONGUEUR
				gr	mm
1	0,23	0,93	15,48	10,670	36,7
2	0,19	0,93	19,64	11,285	38,5
3	0,16	1	24,51	12,345	37,6
4	0,45	4		11,135	39,2
5	0,32	5,67		11,754	39,2
6	0,46	7,80		11,616	39,6

» Chacun de ces échantillons a été amené à son état dur par recuit au-dessus des points de transformation et refroidissement à température convenable, puis soumis à une série de revenus à des températures croissantes. Après chaque opération et retour à la température ordinaire, la barrette était tâtée à la lime, aimantée sur un électro-aimant traversé par un courant de 5,5 ampères et présentée, en position constante, devant un magnétomètre à réflexion.

» Les résultats des essais magnétiques sont réunis ci-dessous.

» Les colonnes des *t* indiquent, dans l'ordre suivi, les températures de chauffage successives ; les chiffres inscrits dans les colonnes *d* et *d'* sont les déviations brutes lues sur l'échelle, placée à un mètre en avant du magnétomètre, immédiatement après l'aimantation et après quinze minutes de repos.

Aciers nickel.

15,48 de Ni.			19,64 de Ni.			24,51 de Ni.		
t.	*d.*	*d'*	*t.*	*d.*	*d'.*	*t.*	*d.*	*d'.*
837	132	118.5	837	121	106	842	112	110.7
770	141	126,5	770	126.6	114,5	723	124,6	123
710	146	127,9	710	131,5	118,4	158	115,1	114,8
634	155,9		634	169		295	92,8	92,1
105	154,8	152	105	168	163,7	399	62,9	62,9
214	139,3	138,9	214	150,9	150	454	61,8	61,2
303	123,7	123,3	303	132,3	132,5	513	79,9	79,9
370	98,1	98	370	104,9	104,9	585	152.7	151,7
415	78	78	415	82,9	82,9	648	152	151
475	64	64	475	72,1	72,1			
514	64,8	64,5	514	78,4	78			
565	149	136	565	181	171			
603	164	149,8	603	175	165,5			

Aciers manganèse.

4 de Mn.			5,67 de Mn.			7,80 de Mn.		
t.	*d.*	*d'.*	*t.*	*d.*	*d'.*	*t.*	*d.*	*d'.*
755	161,8	142,2	755	148,7	148,1	750	1,2	
—190	182,9	166,1	125	138	136	—190	151,9	144
125	164,3	162,5	355	135	123,2	157	163,2	163,2
355	70,3	69,1	594	165	153,5	315	177	176,4
594	95,5	93,5				479	182,9	182
						618	217,5	214,8
						—190	234,9	230,4
						594	205,9	205,9
						—190	210	209,4
						534	204,8	204

» Comme terme de comparaison, une barrette similaire en acier de qualité usuelle pour aimants

(0,71 de C, 0,73 de Mn, 3,47 de Tu; poids = 11,612 gr; longueur = 39,5 mm), trempée au rouge cerise dans l'eau, a donné une déviation de 197,1 mm, réduite à 191 mm après quinze minutes.

» Parmi les nouveaux aciers étudiés, plusieurs se rapprochent de ce type et un d'eux le dépasse, du moins dans les conditions des essais.

» Les aciers au nickel et l'acier à 4,00 de Mn présentent un minimum de magnétisme rémanent qui coïncide pratiquement avec le minimum de dureté. Pour un de ces métaux, la formule de préparation sera donc la suivante : 1° *faire revenir*, après forgeage, un peu au-dessous des points de transformation; 2° ajuster; 3° recuire juste au-dessus des points de transformation pour obtenir le maximum d'intensité magnétique; 4° *faire revenir* vers 100° pour rendre l'aimantation plus stable.

» L'acier à 5,67 de Mn présente cette particularité que le minimum d'intensité magnétique est peu marqué : à l'état doux, cet acier donne encore des aimants passables.

» L'acier à 7,80 de Mn, refroidi deux fois dans l'air liquide et *revenu* au rouge très sombre après chaque refroidissement, fournit des aimants remarquables; mais on ne peut pas l'adoucir notablement.

» L'intérêt de ces aciers *quasi trempés* pour la fabrication des aimants tient à cette double circonstance, que la trempe est évitée et que les propriétés magnétiques sont constantes dans toute la masse. Ces propriétés mériteraient l'attention des physiciens.

A propos de l'interrupteur Wehnelt. — Ainsi que le faisait remarquer récemment M. P. Bary on obtient avec l'interrupteur Wehnelt trois phénomènes distincts suivant la valeur de la différence du potentiel : électrolyse, interruptions et rétablissements brusques du courant avec incandescence des gaz prenant naissance sur l'anode, enfin passage d'un courant continu avec incandescence de l'anode qui reste séparée du liquide par une gaine de vapeur.

D'après une note communiquée à la séance du 15 mai de l'Académie des Sciences (*Comptes rendus* t. CXXVIII, p. 1224), par M. Lagrange, ces faits ont été observés dès 1891 par M. Hoho et lui, non seulement dans le cas où la petite électrode est anode, mais encore dans celui où elle est cathode (*Bull. Acad. Roy. Belgique*, t. XXII, 1891 et t. XXIII, 1892). A la vérité la seconde phase est assez difficile à obtenir dans ce dernier cas et c'est sans doute pourquoi elle n'a pas été observée par tous les observateurs et pourquoi il est recommandé, dans l'emploi de l'interrupteur de Wehnelt, de relier la petite électrode au pôle positif de la source. Mais en prenant certaines précautions, en particulier en assurant un refroidissement rapide de l'électrode, cette phase peut être maintenue aussi longtemps avec la petite électrode prise comme cathode que lorsqu'elle est prise comme anode. Tout récemment M. Lagrange est en effet parvenu à constituer un interrupteur fonctionnant parfaitement en prenant une cathode formée de plusieurs petites tiges de cuivre verticales rivées à l'arête inférieure d'une large plaque placée verticalement en dehors du liquide et présentant par conséquent une grande surface de refroidissement; cet interrupteur a aussi très bien fonctionné sur un circuit *sans self-induction sensible*. En remplaçant la lame de cuivre par un vase plat du même métal contenant de l'eau sans cesse refroidie il a pu opérer avec des courants de 40 à 100 ampères sur un circuit *avec ou sans self-induction;* en lançant ces courants interrompus dans un transformateur de 20 000 volts il a obtenu des décharges induites ayant le même aspect que celles que donne l'interrupteur Wehnelt.

Cohéreurs à action magnétique. — Pour faire perdre à un cohéreur la conductibilité que lui ont donnée les ondes électriques on a eu recours jusqu'ici à un choc imprimé à l'appareil. Ce moyen est brutal et, comme le faisait observer M. Branly dans une récente Note à l'Académie, il donne lieu à des effets très variables. D'après des observations faites par M. Th. Tommasina (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1225, 15 mai 1899), on peut substituer avantageusement au choc l'action d'un aimant dans le cas où les cohéreurs contiennent des substances magnétiques, comme les cohéreurs très sensibles à limaille de nickel et trace de limaille d'argent qu'emploie Marconi et ceux non moins sensibles à limaille de cobalt, de fer et d'acier qu'il a lui-même étudiés.

M. Tommasina a en effet constaté que toutes les fois qu'un pôle d'aimant est approché au-dessus d'un tel cohéreur, à une certaine distance, la limaille est attirée en bloc ou en partie et que la conductibilité disparaît immédiatement ; la conduc-

tibilité reparaît, après éloignement de l'aimant, sous l'action d'une nouvelle onde électrique.

Pour utiliser cette propriété M. Tommasina se sert d'un électro-aimant dont un des pôles est fixé à quelques millimètres au-dessus de la limaille du cohéreur maintenu horizontal ; celui-ci est mis en circuit avec un accumulateur, une résistance de réglage et un relais lequel ouvre ou ferme le circuit de l'électro-aimant sur deux accumulateurs ; un récepteur téléphonique est placé en dérivation sur ce dernier circuit.

Les essais faits avec ce dispositif ont montré « qu'une fois le réglage effectué, la réception des signaux est parfaite avec des tubes contenant des limailles d'acier, de fer, de cobalt et de nickel. Le mouvement de la limaille, très visible à l'œil nu, est d'une précision remarquable et ressemble à une pulsation. Il a été également constaté que les trépidations du sol, et même les secousses et les chocs donnés au cohéreur, ne dérangent nullement le fonctionnement de l'appareil ».

Egalité des vitesses de propagation des ondes électromagnétiques dans l'air et le long des fils.— D'après la théorie de Maxwell, la vitesse de propagation des ondes hertziennes dans un milieu diélectrique doit être égale à la vitesse de propagation le long de fils plongés dans ce diélectrique. Cette conséquence du calcul a été vérifiée expérimentalement par plusieurs observateurs, en particulier par MM. Sarasin et de la Rive qui trouvèrent qu'en faisant successivement agir sur un résonateur des ondes propagées le long d'un fil et des ondes transmises par l'air, la longueur d'onde du résonateur est la même (une longueur d'onde de 6 m étant, dans ces dernières expériences, mesurée à moins de 15 cm près).

M. Gutton (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1508, séance du 19 juin), a fait des expériences basées sur un principe différent et permettant de comparer les vitesses de propagation sans employer de résonateur et sans mesurer de longueur d'onde.

Voici le principe : deux systèmes d'ondes partent simultanément d'un excitateur, l'un se propage constamment le long de fils de cuivre tandis que l'autre effectue dans l'air une partie de son trajet. Ces deux systèmes d'ondes arrivent à un même tube de Branly, disposé de telle sorte que, si les ondes l'atteignent en même temps, leurs actions se retranchent. La longueur des chemins parcourus par les ondes est réglée de façon à ne plus observer d'action sur le tube de Branly ; les deux systèmes d'ondes mettent alors le même temps pour aller de l'excitateur au tube. On supprime ensuite la plus grande longueur du trajet que parcourt dans l'air l'un des systèmes d'ondes, on la remplace par une longueur égale de fils rectilignes et on cherche si les ondes arrivent encore en même temps au tube Branly.

Voici maintenant la disposition expérimentale : un excitateur rectiligne E formé de deux tiges de laiton de 3 cm de longueur et de 0,6 cm de diamètre donne des ondes de 17 cm de longueur ; l'étincelle principale jaillit entre ces tiges dans de l'huile de vaseline ; les deux tiges sont chargées, comme dans l'excitateur de Righi, par deux étincelles d'accès qui éclatent dans l'air ; ces étincelles sont produites par une petite bobine dont on manœuvre à la main l'interrupteur à mercure. Cet excitateur est placé suivant la ligne focale d'un miroir parabolique M de 7 cm de distance focale, 55 cm de hauteur et 27 cm de profondeur, qui envoie les ondes sur un miroir identique M'. Suivant la ligne focale de celui-ci sont disposés deux fils *a'* de 8 cm de longueur respectivement reliés à deux conducteurs de 0,11 cm de diamètre aboutissant à deux fils semblables *a* placés à peu de distance de l'excitateur à l'intérieur du premier miroir. Sur ces deux conducteurs est placé un pont P.

Ce pont est traversé, d'une part, par un système d'ondes ayant traversé dans l'air la distance séparant les deux miroirs, et se propageant ensuite par les conducteurs jusqu'à ce pont, c'est-à-dire ayant suivi le chemin EMM'*a'* P, et, d'autre part, par un second système d'ondes venues directement par les conducteurs reliés en *a*, c'est-à-dire ayant suivi le chemin E *a* P. Pour que les deux systèmes d'ondes traversent le pont en sens inverses les conducteurs aboutissant en *a* sont croisés ; en d'autres termes, le conducteur qui est supérieur au départ de *a* est relié à la partie inférieure du pont, et inversement.

Dans le voisinage du pont P est un tube de Branly constitué par un tube de verre de 3,5 cm de long et de 1,4 cm de diamètre rempli de vis de fer pesant chacune 0,07 gr. L'une de ses extrémités communique avec l'un des pôles d'une pile, l'autre extrémité est reliée à une lame de cuivre de 0,05 cm de long et de 0,01 cm de large, puis à l'autre pôle de la pile. Un galvanomètre est intercalé dans le circuit. Les ondes n'agissent pas directement sur le tube Branly, mais sur la lame de cuivre reliée à

celui-ci; cette lame est enfermée avec le tube dans une boite en zinc; l'une des faces de cette boite est très près du pont et porte une fente parallèle à ce dernier; la lame de cuivre se trouve immédiatement derrière cette fente. On règle la sensibilité du récepteur en faisant varier la largeur de la fente. Le galvanomètre et la pile sont contenus eux-mêmes dans une boite en zinc, percée seulement d'une petite ouverture qui permet d'observer les déviations du miroir du galvanomètre. Un tuyau de plomb réunit les deux boites et contient les fils par lesquels le tube Branly communique avec la pile et le galvanomètre.

Lorsque les deux systèmes d'ondes arrivent en même temps au pont, ils produisent sur le récepteur des actions inverses; si la sensibilité est convenablement réglée, le galvanomètre ne dévie pas lorsqu'on fait jaillir une étincelle à l'excitateur.

Les mesures sont faites comme il suit : la distance entre les lignes focales étant de 5,40 m, on provoque une étincelle à l'excitateur, on observe la déviation du galvanomètre, puis on ramène le tube Branly à son état primitif en frappant sur la boite qui le contient. On fait ensuite varier la longueur de la ligne *a*P jusqu'à ce que le galvanomètre ne dévie plus lorsqu'on produit une étincelle. Les deux systèmes d'ondes mettent alors le même temps pour arriver jusqu'au pont.

On diminue, ensuite, le trajet parcouru dans l'air par l'un des systèmes d'ondes en rapprochant de 4 m le miroir M' du miroir M. D'autre part, on ajoute 4 m de fil à la ligne *a*'P qui recueille les ondes dans le miroir M'; on remplace ainsi les 4 m de trajet dans l'air par une longueur égale de fils de cuivre. On cherche, de nouveau, la longueur de l'autre ligne pour laquelle les ondes arrivent en même temps au pont; cette longueur est la même que dans la première expérience. Des distances égales, dans l'air ou le long d'une ligne de deux fils parallèles, sont donc parcourues dans le même temps.

Dans les deux expériences, la longueur de la ligne *a*P pour laquelle les ondes arrivent à la fois au pont était déterminée à moins de 2 cm près; la longueur parcourue d'abord dans l'air, puis le long des fils, étant de 4 m, l'égalité des vitesses de propagation est vérifiée à moins de 1/200 près.

Dilatation des alliages cuivre-aluminium. — Si l'on porte en abscisses les nombres exprimant le pourcentage d'un des métaux constituant un alliage binaire et en ordonnées la température de fusion de cet alliage, on obtient, en faisant varier le pourcentage, la couche de fusibilité de cet alliage.

Dans une série de recherches dont la description a été publiée dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* (t. X, p. 569; 1895), M. H. Le Chatelier a obtenu de nombreuses courbes de fusibilité ayant des maximum qui, comme l'auteur le faisait remarquer, ne correspondent pas toujours exactement à une composition de la partie fondue identique à la composition des combinaisons définies, auxquelles ces maximum sont imputables. Cette particularité des maximum est, comme M. Van der Waals l'a fait remarquer, en contradiction avec la théorie des équilibres chimiques du professeur Gibbs d'après laquelle à tout maximum d'une courbe de fusibilité doit correspondre une composition de la partie liquide identique à celle de la partie solide qui s'en sépare. Toutefois il n'y a contradiction que si l'on attribue à la partie solide une composition invariable et identique à celle de la combinaison définie; cette contradiction entre la théorie et l'expérience disparait, si l'on admet que « la composition de la partie solide peut varier d'une façon continue, à partir de la combinaison définie, peut se comporter comme un mélange isomorphe de la combinaison avec le métal en excès, en un mot constitue ce qu'on appelle une *solution solide* ».

Pour vérifier cette manière de voir M. Le Chatelier a entrepris une étude d'ensemble sur les propriétés physiques des alliages : micrographie, résistance électrique, dilatation, etc. Dans une note communiquée à l'Académie des sciences, le 12 juin, il faisait connaitre les résultats de ses mesures de dilatation des alliages cuivre-antimoine et cuivre-aluminium.

Pour ces derniers alliages, qui intéressent plus particulièrement les électriciens en vue des applications de l'aluminium, il y a deux combinaisons définies $AlCu^3$ et Al^2Cu. Lorsqu'on fait varier la teneur en cuivre de 0 à 100 p. 100, la dilatation commence par s'abaisser assez lentement, puis très brusquement pour une teneur en cuivre un peu inférieure à celle correspondant à Al^2Cu jusqu'au moment où la composition correspond à Al^2Cu; elle reste ensuite sensiblement constante. La courbe des dilatations présente un maximum pour une teneur en cuivre un peu inférieure à celle correspondant à Al^2Cu, précisément celle pour laquelle commence la chute brusque de la dilatation. La

chute indiquant l'existence d'une solution solide, le fait que le maximum de la courbe de fusibilité ne correspond pas exactement à Al^2Cu se trouverait expliqué. Quant à la seconde combinaison $AlCu^3$, elle ne donne lieu à aucune anomalie ni dans les courbes de fusibilité, ni dans celle de dilatation.

Méthode de mesure de la vitesse de propagation des oscillations nerveuses provoquées par des excitations unipolaires. — Par une série de travaux faits de 1893 à 1896, M. Aug. Charpentier avait établi que l'excitation faradique des nerfs à l'aide d'un seul pôle de la bobine d'induction (l'autre pôle étant isolé ou mis à la terre) pouvait donner lieu, dans certaines conditions expérimentales, à des phénomènes d'interférence évidemment liés à la production d'oscillations dans le nerf au moment de chaque choc induit. Tout d'abord M. Charpentier attribua ces oscillations nerveuses aux oscillations électriques auxquelles donne lieu le fonctionnement de la bobine en circuit ouvert. Depuis il a constaté que, d'une part, les conditions physiques qui influent sur la fréquence des oscillations électriques (capacité et self-induction) ne changeaient rien aux phénomènes observés sur le nerf, et, d'autre part, que ces phénomènes se reproduisaient avec des excitations unipolaires quelconques : la décharge des condensateurs, la simple ouverture ou fermeture d'un courant de pile direct sans self-induction appréciable et par conséquent sans caractère oscillatoire. Il a été ainsi conduit à admettre que l'excitation unipolaire donne réellement de véritables oscillations nerveuses.

Dans une note présentée à la séance de l'Académie des sciences du 12 juin (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1473-1476), M. Charpentier indique une méthode pour mesurer la vitesse de propagation de ces oscillations et la durée de chacune d'elles. En voici le principe :

Supposons qu'on excite un point A du nerf à l'instant t et, au moyen d'un *autre conducteur*, un autre point B à l'instant t'. Suivant la phase de l'oscillation transmise en B par l'excitation produite en A, l'effet de l'excitation produite en B augmentera ou diminuera la réaction musculaire provoquée par l'oscillation provenant de A. Par conséquent si on fait varier l'intervalle de temps $t'-t$ par quantités très petites (de l'ordre du cent millième de seconde) on observera une réaction nulle pour un certain intervalle, puis une augmentation de cette réaction, puis sa diminution et enfin son annulation. La différence des intervalles correspondant à la production de deux minimum consécutifs donne la durée d'une oscillation. La vitesse de propagation de l'oscillation se déduit de la connaissance de ces différences des intervalles et de celle de la distance des deux électrodes excitatrices dans des expériences comparatives. La longueur d'onde se calcule d'après la vitesse et la période, mais elle peut aussi être déterminée directement en cherchant les deux positions successives de la seconde électrode pour lesquelles se produit l'interférence.

Dans une note plus récente (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1603-1606, séance du 26 juin), M. Charpentier, après avoir décrit le dispositif expérimental qui lui a permis d'appliquer cette méthode, fait connaitre les résultats que lui a donnés sa meilleure série d'expériences sur différents nerfs pour la vitesse de propagation. Il a trouvé pour cette vitesse des nombres compris entre 17,9 m : sec et 34,8 m : sec, valeurs du même ordre de grandeur que celles qui ont été trouvées pour la vitesse de l'influx nerveux.

Actions électrolytiques observées dans le voisinage d'un tube de Crookes. — On se rappelle que lors des premières applications des rayons X à la chirurgie, on eut à signaler un assez grand nombre d'ulcérations de l'épiderme des régions du corps soumises longtemps à l'action de ces rayons. Quelques précautions dans l'emploi des tubes de Crookes et en particulier l'éloignement de ces tubes de l'épiderme du sujet, évitèrent le retour de ces accidents, dont quelques-uns ont été d'une gravité exceptionnelle. Mais jusqu'ici on était réduit aux conjectures sur les causes de ces accidents ; on ignorait s'ils sont dus à une action des rayons X ou à un effet secondaire. MM. H. Bordier et Salvador ont pensé que la cause devait être une électrolyse des liquides contenus dans les tissus épidermiques produite par des décharges allant d'une électrode à l'autre d'un tube de Crookes, mais extérieurement à ce tube et traversant les objets conducteurs, comme le corps humain, lorsque ceux-ci sont placés à faible distance de ce tube. Les expériences que les deux auteurs viennent de communiquer à l'Académie des sciences (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1511, séance du 19 juin), ne laissent aucun doute sur l'existence de ces décharges extérieures et sur leur action électrolytique.

Dans ces expériences, MM. Bordier et Salvador ont placé un tube de Crookes à une faible distance au-dessus d'un vase contenant une dissolution de sulfate de cuivre ou de sulfate de zinc. Dans la dissolution plongeaient deux lames verticales de cuivre ou de zinc coudées à angle droit de manière que leurs portions horizontales se trouvent au-dessous du tube. Ces lames pouvaient être reliées à l'aide d'un interrupteur bipolaire, à un galvanomètre. Avant le fonctionnement du tube, le galvanomètre n'accusait aucune déviation quand on le reliait aux lames; après quelques minutes de fonctionnement du tube, la fermeture du circuit galvanométrique donnait lieu à une déviation qui, au bout de vingt minutes de fonctionnement, atteignait jusqu'à 90 mm de l'échelle. Ceci montrait qu'il y a polarisation des électrodes plongées dans l'électrolyte et le sens de la déviation indiquait que la lame placée en face de l'anode du tube était au plus haut potentiel.

Cette polarisation n'est pas due aux rayons X eux-mêmes car la déviation galvanométrique était la même quand le tube était placé de manière à envoyer le faisceau de rayons X sur le liquide et les électrodes et quand, retourné de 180°, il était disposé de manière à envoyer ces rayons vers le haut.

De plus, il a été constaté que la déviation galvanométrique diminue quand on éloigne le tube de la surface du liquide : cette déviation était nulle, même après vingt minutes de fonctionnement lorsque le tube était éloigné de 30 cm. Ce fait s'accorde bien avec l'hypothèse que l'électrolyse est due à des décharges dérivées.

Enfin, les auteurs ont observé que, toutes les autres conditions étant les mêmes, l'élongation obtenue après une même durée de fonctionnement d'un tube était beaucoup plus grande (73 mm d'élongation) avec un tube « dur », c'est-à-dire très résistant qu'avec un tube peu résistant (élongation 20 mm). Si l'on remarque les décharges dérivées extérieurement de l'anode à la cathode du tube doivent être d'autant plus intenses que le tube oppose une plus grande résistance au passage dans son intérieur, cette observation confirme également l'explication de l'électrolyse par des décharges dérivées.

De la part qui revient aux actions électrolytiques dans la production de l'érythème radiographique. — Dans une nouvelle note à l'Académie des Sciences (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1612, séance du 26 juin) MM. Bordier et Salvador décrivent d'autres expériences montrant que les accidents cutanés observés en radiographie ont pour cause l'électrolyse par des décharges dérivées, électrolyse mise en évidence par les expériences antérieures. Toutefois, dans leur conclusion, que nous reproduisons plus loin, les auteurs font quelques réserves au sujet de la part effective de cette électrolyse dans les accidents graves; ils croient que les rayons X ont par eux-mêmes une action directe sur l'épiderme, mais que cette action ne peut manifester que si l'érythème a été en quelque sorte amorcé par l'électrolyse. Celle-ci n'en resterait pas moins la cause primordiale de ces accidents.

Les expériences montrant la production de l'érythème par l'électrolyse due à des décharges forment deux séries; dans la première, une région de la peau était exposée à la partie du tube de Crookes n'émettant pas de rayons X; dans la seconde, le tube de Crookes était remplacé par la décharge, sous forme d'effluves, de la bobine. En voici la description :

« *Première série.* — Notre bobine de Ruhmkorff, pouvant donner 0,55 m d'étincelles, était munie d'un interrupteur de Wehnelt; le courant primaire avait un voltage de 45 volts et une intensité de 5 ampères.

» Le tube de Crookes était orienté de manière que les rayons X qui en émanaient fussent dirigés vers le plafond du laboratoire; nous avons exposé la partie médiane du bras droit de l'un de nous près de la région du tube opposée à l'anticathode, en dessus du tube, par conséquent.

» La distance comprise entre l'ampoule et la peau était de 0,05 m; la durée d'exposition a été d'abord de quinze minutes. Le soir même de l'expérience apparaissaient de petites papules légèrement rouges, et une démangeaison très nette se manifestait; le lendemain, la même exposition de la peau était renouvelée dans les mêmes conditions et pendant le même temps. Quarante-huit heures après, une rougeur légère se montrait sur la région cutanée et l'érythème s'accentuait pendant les trois jours suivants. Huit jours après, la surface se desquamait en fines lames épidermiques; on n'a pas noté de gonflement du bras, mais la démangeaison a persisté pendant tout ce temps.

» *Deuxième série.* — Nous avons cherché à voir quels phénomènes se produiraient si l'on remplaçait le tube de Crookes par la décharge, sous forme d'effluves, de la bobine. Pour cela, nous avons pris deux grosses tiges de cuivre coudées à angles droit terminées par des balais en clinquant et reliées aux

deux bornes de la bobine de Ruhmkorff. Pour éviter la production d'étincelles entre les deux conducteurs coudés, nous avons interposé une lame verticale de paraffine de 0,03 m d'épaisseur : la distance comprise entre les deux tiges métalliques a pu ainsi être réduite à 0,15 m sans étincelles.

» Avant d'essayer l'action de la décharge sur la peau, nous avons étudié cette action sur un électrolyte voisin, comme nous l'avions fait précédemment avec le tube de Crookes : une cuve renfermant une solution saturée de sulfate de cuivre pur où plongeaient deux lames de cuivre a été placée en dessous des balais et à 0,15 m. Après trente minutes de passage du courant dans la bobine, le circuit des lames de l'électrolyte a été fermé sur la boussole de Wiedemann-d'Arsonval et une élongation égale à 0,05 m a été notée. Le sens de la déviation galvanométrique était tel que le courant dû à la polarisation des électrodes de l'électrolyte se propageait de la lame placée en face du balai anodique vers la lame située vis-à-vis de l'autre balai. Si l'on se reporte à nos expériences faites avec le tube de Crookes, on trouve que cette déviation est du même ordre de grandeur. Après avoir fait cette première constatation, nous avons remplacé l'électrolyte par la face antéro-externe de l'avant-bras. L'exposition de cette région à la décharge obscure provenant des balais a eu lieu pendant soixante-dix minutes, en plusieurs fois. On constata la production d'une démangeaison assez vive, puis on vit apparaître une légère rougeur ; quatre jours après la dernière exposition, la peau changea de couleur et devint brunâtre, puis rouge ; enfin, dix jours après l'expérience, la démangeaison ayant persisté, il se fit une desquamation épidermique sur toute la surface exposée à l'action de la décharge des balais.

» Ces expériences montrent qu'il y a une grande analogie, au point de vue des phénomènes cutanés, entre l'action d'un tube de Crookes dont le faisceau de rayons X est dirigé en haut et celle de la décharge de la bobine obtenue à l'aide de pinceaux tournés vers la peau. Dans l'un et l'autre cas, des actions électrolytiques se produisent dans un électrolyte voisin et la force électromotrice de polarisation est de même ordre de grandeur; dans l'un et l'autre aussi les phénomènes cutanés présentent le même degré et la même allure : rougeur, démangeaison, desquamation.

» Les résultats de nos expériences établissent nettement, il nous semble, qu'il peut se produire de l'érythème par la seule action électrolytique et sans que les rayons X aient à intervenir en aucune manière. Mais, si l'on tient compte de l'intensité de l'érythème électrolytique pur comparativement à celle de l'érythème radiographique proprement dit, on doit admettre que l'action électrolytique, mise en évidence par nos expériences, entre sans doute pour une certaine part dans la production des accidents cutanés consécutifs à l'exposition de la peau devant un tube de Crookes, mais qu'il y a aussi un autre facteur qui intervient pour rendre plus profondes les perturbations dont les nerfs trophiques de la peau sont le siège; cet autre facteur semble être l'action des radiations de très petite longueur d'onde et qui constituent les rayons X eux-mêmes.

» Un assez grand nombre de faits prouvent cependant que les radiations de Rœntgen ne suffisent pas à elles seules à déterminer l'érythème radiographique ; il semble que ces radiations aient besoin, pour arriver à produire franchement l'érythème, du secours de l'action électrolytique due à la décharge dérivée à l'extérieur du tube et provenant, comme nous l'avons indiqué déjà, de l'onde induite de rupture. »

Applications médicales des rayons Rœntgen. — Les recherhes faites par les Drs Bouchard, Bergonié et Carrière ont montré que les rayons Rœntgen peuvent rendre de grands services aux médecins dans le diagnostic de la pleurésie (*Ecl. Elect.*, t. X, p. 43 et 144, t. XII, p. 86. t. XIV, p. 137, 2 et 16 janvier 1897, 3 juillet 1897 et 15 janvier 1898). Dans une récente note à l'Académie des sciences (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1429), MM. Ch. Bouchard et H. Guilleminot font connaître les nouveaux résultats que leur ont fournis cette méthode d'observation.

Ils sont parvenus au moyen de repères métalliques fixés dans le dos du sujet, à mesurer sur l'image radioscopique ou mieux l'image radiographique, l'inclinaison des côtes chez les sujets sains et les sujets pleurétiques. Ils ont constaté que chez les sujets sains la pente moyenne des côtes est la même à droite et à gauche et que l'emplitude oscillatoire pendant la respiration est à peu près la même à droite qu'à gauche. Chez les pleurétiques et les anciens tuberculeux, les pentes costales sont dissemblables, toujours plus prononcée du côté malade (de 3° à 6° dans les cas considérés) ; en outre, l'amplitude oscillatoire des côtes pendant la respiration est très diminuée.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XX. Samedi 15 Juillet 1899 6e Année. — N° 28.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

THÉORIE DE LA COMMUTATION

DANS LES MACHINES A COURANT CONTINU

D'après Fischer-Hinnen.

La puissance d'une machine, abstraction faite des qualités mécaniques, du rendement et de l'échauffement est limitée par la production d'étincelles. M. J. Fischer-Hinnen, dans la quatrième édition allemande de son ouvrage *Les dynamos à courant continu*, a exposé d'une façon très complète ses recherches sur la commutation. Déjà il avait publié, en particulier dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* à la fin de l'année dernière [1], des résultats intéressants; les conclusions qu'il nous apporte maintenant et auxquelles de nombreuses données pratiques servent de contrôle, pourront rendre des services dans l'étude d'une dynamo à courant continu.

Les formules auxquelles cet ingénieur arrive ne devraient, rigoureusement, s'appliquer que pour les génératrices, dans lesquelles l'épaisseur des balais γ (fig. 2) est égale ou inférieure à la largeur d'une lame; toutefois, on peut admettre, en règle générale, que les moteurs ont, toutes choses égales d'ailleurs, un meilleur fonctionnement que les génératrices, et que l'augmentation de l'épaisseur des balais améliore presque toujours la machine.

I. — Relation générale.

Nous prendrons les notations suivantes [1] :

L coefficient de self-induction de la bobine en court-circuit (en henrys);

I_3 courant dans la bobine en court-circuit (en ampères);

r_3 résistance de cette bobine (en ohms);

I_1, I_2 courants dans les lames A et B du collecteur;

r_1, r_2 résistances variables de contact (représentées schématiquement comme des rhéostats dans la figure 1);

(1) *Elekt. Zeitsch.*, 1898, nos 51 et 52.

(1) Le lecteur devra remplacer dans les figures 1, 3, 4, 5, 6, i, i_1, i_2, i_3 respectivement par I, I_1, I_2, I_3.

r_4 résistance des connexions au collecteur (dans les cas ordinaires où les conducteurs sont reliés directement au collecteur $r_4 = 0$);

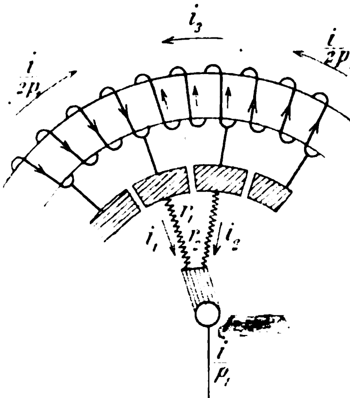


Fig. 1.

I courant total de la machine;
$2p$ nombre de pôles;
$2p_1$ nombre de circuits en parallèle;
T durée du court-circuit (en secondes);
E_t valeur instantanée de la force contre-électromotrice induite par le décalage des balais;
l_1 longueur de la partie frottante des balais, suivant l'axe (en mètres);
γ largeur de la partie frottante des balais (en mètres);
v vitesse circonférencielle du collecteur (en mètres).

Les lois de Kirchhoff donnent :

$$L \frac{dI_3}{dt} + I_3 r_3 + E_t + I_1 \left(r_1 + \frac{r_4}{2}\right) - I_2 \left(r_2 + \frac{r_4}{2}\right) = 0 \quad (1)$$

$$I_1 = \frac{I}{2p_1} + I_3 \quad (2)$$

$$I_2 = \frac{I}{2p_1} - I_3 \quad (3)$$

Sur la figure 2 on voit que :

$$r_1 = \frac{\rho}{l_1(\gamma - vt)},$$

$$r_2 = \frac{\rho}{l_1 vt}$$

posons :

$$\frac{vt}{\gamma} = \frac{t}{T} = x \quad \text{d'où } dt = T dx$$

$$r = \frac{\rho}{l_1 \gamma}$$

$$\frac{rT}{L} = \theta \quad (4)$$

$$\frac{r_3 + r_4}{r} = \alpha \quad (5)$$

On déduit de là

$$r_1 = \frac{r}{1-x} \quad (6)$$

$$r_2 = \frac{r}{x} \quad (7)$$

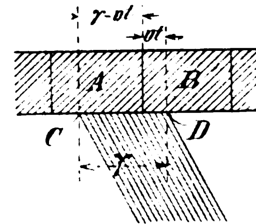


Fig. 2.

La combinaison de ces sept équations donne

$$dI_3 + I_3\theta\left[\alpha + \frac{1}{1-x} + \frac{1}{x}\right]dx + \theta\frac{E_t}{r}dx + \frac{I}{2p_1}\theta\left[\frac{1}{1-x} - \frac{1}{x}\right]dx = 0. \quad (8)$$

$$dI_1 + I_1\theta\left[\alpha + \frac{1}{1-x} + \frac{1}{x}\right]dx + \theta\frac{E_t}{r}dx - \frac{I}{2p_1}\theta\left[\alpha + \frac{2}{x}\right]dx = 0. \quad (9)$$

$$dI_2 + I_2\theta\left[\alpha + \frac{1}{1-x} + \frac{1}{x}\right]dx - \theta\frac{E_t}{r}dx - \frac{I}{2p_1}\theta\left[\alpha + \frac{2}{1-x}\right]dx = 0. \quad (10)$$

Ces relations sont de la forme générale

$$dJ + J f(x) dx + \varphi(x) dx = 0.$$

et satisfaites par :

$$J = - e^{-\int f(x)dx} \int \varphi(x) . e^{-\int f(x)dx} dx$$

Ces équations sont intégrables par développement en série, cependant on n'arriverait pas ainsi à grand'chose, car le calcul, comme on peut facilement s'en apercevoir, est extrêmement pénible et compliqué, surtout pour des valeurs de x voisines de l'unité. Pour l'étude d'une machine, il suffit d'ailleurs de connaître le commencement et la fin de la courbe du courant. Si on désire tracer toute la courbe, voici un moyen d'arriver assez facilement au résultat.

Si la variation dI_3 peut être considérée

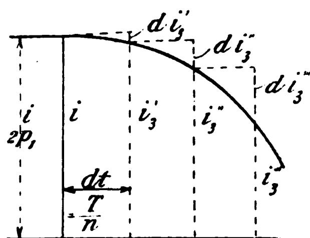


Fig. 3.

comme ayant une valeur fixe pendant un temps très court dt, nous pouvons écrire

$$\left\{\begin{array}{l} dI'_3 = I'_3 - I_0 \\ dI''_3 = I''_3 - I'_3 \\ dI'''_3 = I'''_3 - I''_3, \quad \text{etc.} \end{array}\right.$$

Pour simplifier, posons

$$\left\{\begin{array}{l} \dfrac{1}{1-x} + \dfrac{1}{x} = f(x) \\ \dfrac{1}{1-x} = \varphi(x) \end{array}\right.$$

Si le décalage des balais n'est pas trop considérable, on peut représenter E_t par la fonction linéaire :

$$E_t = A + A_1 x$$

$$\left\{\begin{array}{l} \dfrac{I'_3}{I_0} = \dfrac{\dfrac{1}{\theta} - \dfrac{1}{I_0 r}(A + A_1 x')\,dx - \varphi(x')\,dx}{\left(\dfrac{1}{\theta} + \alpha\,dx\right) + f(x')\,dx} \\ \dfrac{I''_3}{I_0} = \dfrac{\dfrac{I'_3}{I_0}\cdot\dfrac{1}{\theta} - \dfrac{1}{I_0 r}(A + A_1 x'')\,dx - \varphi(x'')\,dx}{\left(\dfrac{1}{\theta} + \alpha\,dx\right) + f(x'')\,dx} \\ \dfrac{I'''_3}{I_0} = \dfrac{\dfrac{I''_3}{I_0}\cdot\dfrac{1}{\theta} - \dfrac{1}{I_0 r}(A + A_1 x''')\,dx - \varphi(x''')\,dx}{\dfrac{1}{\theta} + \alpha\,dx + f(x''')\,dx} \\ \quad \text{etc.} \end{array}\right.$$

A, A_1 et α sont constants, tant que le décalage moyen des balais n'est pas modifié, quant à x, dx, $\varphi(x)\,dx$, $f(x)\,dx$, leurs valeurs correspondantes peuvent être tirées du tableau ci-dessous.

Comme il importe de connaître avec plus d'approximation les extrémités de la courbe, on choisira à ces endroits de plus petites valeurs de l'intervalle.

Tableau des valeurs de x, dx, $\varphi(x)\,dx$ et $f(x)\,dx$.

x	dx	$\varphi(x)\,dx$	$f(x)\,dx$
0,05	0,05	— 0,948	+ 1,052
0,10	0,05	— 0,445	+ 0,556
0,15	0,05	— 0,274	+ 0,392
0,20	0,05	— 0,187	+ 0,312
0,30	0,1	— 0,190	+ 0,476
0,40	0,1	— 0,083	+ 0,417
0,50	0,1	0	+ 0,400
0,60	0,1	+ 0,083	+ 0,417
0,70	0,1	+ 0,190	+ 0,476
0,80	0,1	+ 0,375	+ 0,625
0,85	0,05	+ 0,274	+ 0,392
0,90	0,05	+ 0,445	+ 0,556
0,92	0,02	+ 0,228	+ 0,272
0,94	0,02	+ 0,312	+ 0,355
0,96	0,02	+ 0,479	+ 0,521
0,97	0,01	+ 0,323	+ 0,344
0,98	0,01	+ 0,490	+ 0,510
0,99	0,01	+ 0,990	+ 1,010

Exemple. — Machine pour laquelle

$$\theta = 2$$
$$A = 1 + I_0 r$$
$$A = 3 + I_0 r$$
$$\alpha = 2$$

x	$\frac{I_3}{I_0}$	x	$\frac{I_3}{I_0}$	x	$\frac{I_3}{I_0}$	x	$\frac{I_3}{I_0}$
0,05	0,858	0,30	0,155	0,70	— 0,61	0,92	— 0,95
0,10	0,700	0,40	— 0,054	0,80	— 0,77	0,94	— 0,97
0,15	0,556	0,50	— 0,25	0,85	— 0,84	0,96	— 0,982
0,20	0,366	0,60	— 0,435	0,90	— 0,91	0,97	— 0,994

II. — Causes de la production d'étincelles.

Jadis on attribuait exclusivement la production d'étincelles à l'interruption d'un cou-rant. Cette conception a été réfutée par Thornburn Reid [1] qui voit dans le phénomène la conséquence d'une densité de courant excessive aux balais, et considère comme

[1] Mémoire lu à la American Inst. of Elect. Eng., 15 déc. 1897.

sans danger les étincelles d'une autre nature. Ceci s'applique aussi bien au cas des interrupteurs ordinaires [1].

Reprenons l'équation (8). Pour $(1-x) = dx$, elle devient

$$dI_3 + I_3 \alpha \theta dx + I_3 \theta + I_3 \theta dx + \frac{E_t}{r} \theta dx + \frac{I}{2p_1}\theta - \frac{I}{2p_1}\theta dx = 0.$$

Comme tous les termes où entrent les différentielles dI_3 ou dx, sont extrêmement petits on peut les négliger et on voit que

$$I_3 \theta + \frac{I}{2p_1}\theta = 0$$

c'est-à-dire que, au temps $t = T$, le courant I_3 dans la bobine en court circuit prend toujours la valeur $-\frac{I}{2p_1}$, quels que soient d'ailleurs le décalage des balais ou l'état électrique de la machine. Si donc la machine a des étincelles aux balais, c'est que, avant même la rupture, l'intensité du courant dans une lame est devenue trop grande, ce qui occasionne l'arrachement d'une particule fondue de la surface de contact. Dans ces conditions, il se forme un arc qui se trouve coupé quand le balai quitte la lame.

En examinant les courbes de courant [2] (fig. 4, 5 et 6) [1] on reconnaît facilement qu'il faut craindre les actions nuisibles, soit au

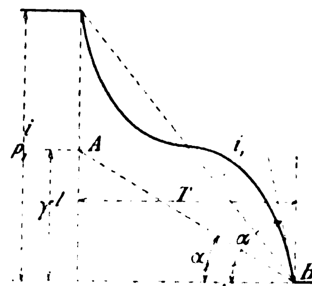


Fig. 4.

début de la commutation, c'est-à-dire à la lame où arrive le balai, soit, et c'est fréquent, dans la dernière partie de la commutation, et alors vers l'arête de la lame qui est quittée. Dans le premier cas, les étincelles se tiennent sous les balais et sont peu visibles, mais après quelque temps de fonctionnement, on peut remarquer un échauffement sensible du collecteur et une usure des lames. Si alors, on laisse marcher plus longtemps la machine

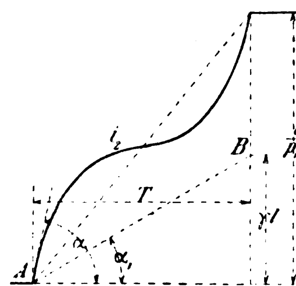


Fig. 5.

en charge, les étincelles deviennent peu à peu visibles : ceci provient d'une détérioration graduelle de la surface d'appui des balais qui fait avancer les étincelles vers leur arête.

Pour déterminer l'endroit où la densité

---

[1] Le maximum de la perte d'énergie correspondant à l'étincelle, et rapportée à l'unité de surface est :

$$w = \frac{E^2}{\rho} \text{ watts par cm}^2$$

ρ, pour les contacts cuivre, ne dépasse guère 0,001 ; il se produit en somme, même pour 1 volt, une densité qui suffit amplement à fondre le contact avant la rupture véritable et à produire une étincelle visible. L'importance de l'étincelle est d'autant moindre que l'interruption se fait plus vite (c'est-à-dire qu'on assujettit moins longtemps les contacts à une densité anormale), et que la température de l'espace ambiante est plus basse. Aussi un interrupteur fonctionne-t-il probablement mieux dans un milieu liquide ou dans l'acide carbonique que dans l'air.

[2] Dans ces figures, AB représente la surface de contact des balais ; la densité à chaque point de la courbe peut être représentée par les rapports des ordonnées correspondantes de la courbe et de la droite AB : on peut déduire de là une construction extrêmement simple de la courbe de densité du courant.

[1] Il peut être intéressant de revoir les études suivantes : Experiments on commutation in dynamos and motors, par W.-H. Everett et A.-H. Peake, analysée très complètement dans *L'Éclairage Électrique*, t. XVI, p. 337, 20 août 1898.

Sparkless reversal in dynamos, par H.-N. Allen (*L'Éclairage Électrique*, t. XVI, p. 513, 17 septembre 1898.

maxima se produit, M. Fischer conseille de faire marcher quelque temps seulement (1/4 ou 1/2 heure) une machine neuve, puis d'examiner les lames du collecteur. Dans des cas très rares, il peut arriver que les lames soient mangées au milieu, ceci se reconnaît facilement à l'allure de la courbe de courant (fig. 6).

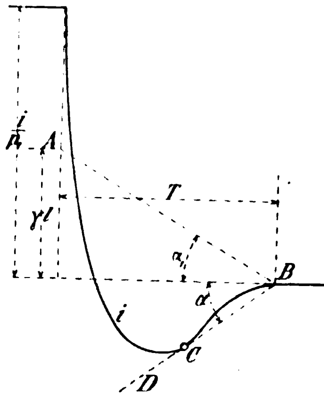


Fig. 6.

Cherchons maintenant les valeurs des densités de courant i_1 et i_2. Reprenons l'équation

$$dI_1 + I_1\theta\left(\alpha + \frac{1}{1-x} + \frac{1}{x}\right)dx + \theta\frac{E_t}{r}dx - \frac{1}{2p_1}\theta\left(\alpha + \frac{2}{x}\right)dx = 0$$

et faisons varier x, $\frac{I_1}{1-x}$ prend pour $x = 1$, la forme indéterminée, sa valeur réelle étant alors $-\frac{dI_1}{dx}$.

Nous avons donc pour $x = 1$.

$$\frac{dI_1}{dx} = -\frac{\frac{1}{2p_1}(\alpha + 2) - \frac{E_T}{r}\theta}{\theta - 1}$$

D'une façon analogue, pour $x = 0$

$$\frac{dI_2}{dx} = \frac{\frac{1}{2p_1}\theta(\alpha + 2) + \frac{E_0}{r}\theta}{\theta + 1}$$

La densité du courant vaut à chaque instant

$$i_1 = \frac{I_1}{\gamma l_1(1-x)}$$

et pour $t = T$, puisque à ce moment $(1-x)$ devient dx

$$\gamma l_1 i_1 = -\frac{dI_1}{dx} = \frac{\frac{1}{2p_1}(\alpha + 2)\theta - \theta\frac{E_T}{r}}{\theta - 1}$$

De même on obtiendrait pour $t = T$

$$\gamma l_1 i_2 = \frac{dI_2}{dx} = \frac{\frac{1}{2p_1}(\alpha + 2)\theta + \theta\frac{E_0}{r}}{\theta + 1} \qquad (11)$$

On conclut de ces équations que θ doit être > 1, sans quoi à la fin de la commutation la densité du courant devient infiniment grande. On doit donc, comme l'a indiqué M. Girault [1], s'arranger de manière que θ soit toujours > 1 [2].

Cependant, si l'on calcule θ d'après les données de construction d'une machine, généralement cette grandeur est notablement inférieure à 1, même pour des machines qui fonctionnent bien. Il est en particulier très difficile de remplir la condition énoncée pour des machines à balais métalliques, et les machines ne présentent pas plus d'étincelles pour cela. Ce phénomène amène à penser que la résistance de contact correspondant à des étincelles à peine visibles augmente extrêmement vite, au moins dix ou vingt fois, avant que les étincelles proprement dites n'apparaissent.

En exprimant qu'au temps $t = T$ la densité i_1 est nulle, on arrive à la valeur

$$E_T = \frac{1}{2p_1}r_3 + \frac{1}{p_1}r.$$

(1) Sur la commutation dans les dynamos à courant continu, *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, mai 1898. *L'Éclairage Électrique*, t. XV, p. 339, 21 mai 1898.

(2) Ceci se voit aussi sur l'équation 8, dont la solution peut s'écrire :

$$I_1 = -\frac{(1-x)^\theta}{x}e^{\theta\alpha x}.F$$

F étant toujours différent de o.

A un moment quelconque, la densité

$$i_1 = -\frac{(1-x)^{\theta-1}}{x}e^{-\theta\alpha x}\frac{F}{\gamma l_1}$$

Pour $x < 1$ les exponentielles sont négatives et pour $x = 1$, i est ∞.

Cette égalité de la force électromotrice induite par le décalage des balais, à la somme des pertes en volts dans la bobine en court circuit et au contact n'est pas toujours la circonstance la plus favorable relativement à la production des étincelles : elle n'est vraie, en effet, qu'à la fin de la courbe et n'a aucun rapport avec le commencement.

Il est très facile de prévoir une densité de courant constante pendant la commutation : on trouverait

$$(a)\quad \begin{cases} E_r = \dfrac{I}{p_1}\left(\dfrac{\alpha . r}{2} + \dfrac{L}{T}\right) \\ E_0 = \dfrac{I}{p_1}\left(-\dfrac{\alpha r}{2} + \dfrac{L}{T}\right) \end{cases}$$

$$E = \frac{I}{p_1} \cdot \frac{L}{T}$$

E_m servira à calculer le décalage moyen des balais.

III. — Valeurs de α, r, T et L.

1. *Evaluation de α et* r. — Nous avons posé $\alpha = \frac{r_3 + r_4}{r}$.

Dans la plupart des machines, chaque segment du collecteur correspond à deux conducteurs, ou bien il y a des liaisons si courtes qu'on peut les négliger devant la résistance des bobines. Nous pouvons donc, sans grande erreur négliger, r_4 et écrire

$$\alpha = \frac{r_3}{r}$$

Soient :

E, la tension aux bornes de la machine ;

N_2, le nombre de lames au collecteur ;

100 ε, la perte en volts dans l'induit (ε vaut de 0,01 à 0,05) ;

I, le courant total de la machine.

$$r_3 = \frac{4p_1^2 \varepsilon}{N_2 I}$$

Nous avons écrit que $r = \frac{\rho}{l_1 \gamma}$ où ρ est la résistance spécifique de contact ; sa valeur est très incertaine, car cette grandeur est soumise à des variations extraordinaires.

Résistance des balais en charbon d'après le professeur Arnold (1).

Pression 0,12 kgs par $\overline{cm}^2$.

Ampères par $\overline{cm}^2$.	3,3	5	6,6	10
$\overline{mm}^2$ par ampères	30	20	15	10
Vitesse circonférencielle.				
6,10 m. ρ =	0,24 (0,44)	0,18 (0,31)	0,145 (0,25)	0,1
8,10 m. ρ =	0,16 (0,45)	0,12 (0,33)	0,10 (0,27)	0,08

(Les valeurs entre parenthèses se rapportent au collecteur poli et huilé.)

Résistance des balais métalliques d'après le professeur Arnold (2).

Ampères par $\overline{cm}^2$.	10	15
$\overline{mm}^2$ par ampère.	10	6,7
Vitesse circonférencielle.		
6,10 m. ρ =	0,005	0,0055
8,10 m. ρ =	0,0042	0,0013

Résistance au contact d'après E.-V. Cox et H.-W. Buck (3)

PRESSION en kgs par $\overline{cm}^2$	BALAIS en cuivre portant tangentiellement.	BALAIS en charbon, portant radialement.
0,034	0,064	2,57
0,069	0,058	1,28
0,103	0,051	0,83
0,138	0,041	0,64
0,172	0,038	0,56
0,207	0,035	0,51
0,242	0,033	0,48
0,275	0,032	0,45

(1) E. T. Z. n° 1, 1899. *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, n° 19.

(2) E. T. Z. 5 novembre 1896. *L'Éclairage Électrique*, t. V, n° 48 et t. X, n° 11.

(3) E. T. Z., 1898, n° 10.

Résistance au contact d'après Dettmar [1].

Ampères par cm^2.	mm^2 par ampère.	Vitesse circonférencielle	ρ
Balais en charbon. 6,5	15,3	9,3 m	0,216
Balais en cuivre . 10	10	9,3 m	0,023

Résistance de balais en charbon d'après C. Pierron.

(Pour les pressions usuelles).

VITESSE circonférencielle en mètres.	ρ à froid.	ρ après 2 h. de marche.
10	0,111	0,101
7,8	0,114	0,102
5,9	0,117	0,105
4,9	0,120	0,109
2,4	0,126	0,116
1,4	0,125	0,119
0	0,095	0,082

De sorte que pour 15 mm^2 par ampère, valeur qu'on adopte très souvent dans la pratique, la perte totale de tension aux balais serait (indépendamment du courant) :

AUTEURS	VITESSE circonferencielle.	PRESSION en kgs par cm^2	PERTE en volts.
Pierron.	7,8 m.	»	1,18
Prof. Arnold.	8,10 m.	0,120	1,34
Dettmar.	9,30 m.	»	2,80
Cox et Buck.	»	0.138	8,50

Il est vraisemblable que les nombres de Cox et Buck qui sont anciens n'ont plus guère de valeur pour les charbons fabriqués aujourd'hui ; cependant, il est évident que la règle adoptée pratiquement, de prévoir 15 mm^2 par ampère pour les balais en charbon n'est admissible que pour les machines à haute tension et que pour des machines de 100 à 120 volts, on doit prendre des surfaces plus grandes, afin de ne pas trop diminuer le rendement.

Les recherches du professeur Arnold et de M. Pierron ont porté sur des charbons parfaitement taillés ; ce dernier a effectué ses expériences avec un appareil spécial à frotteurs et bagues. Il n'est donc pas invraisemblable de voir la résistance de contact, dans les circonstances ordinaires, être un peu plus grande. Aussi M. Fischer adopte-t-il les nombres de Dettmar, c'est-à-dire :

$\rho = 0,2$ pour les balais en charbon ;

$\rho = 0,02$ pour les balais en cuivre.

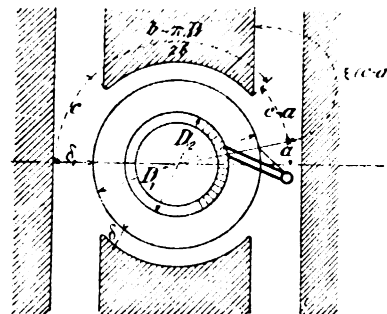


Fig. 7.

2. *Calcul de T.* — Soient

D_2, le diamètre du collecteur ;

n, nombre de tours ;

γ, épaisseur d'un balai mesuré à l'endroit du contact ;

γ_1 épaisseur d'une lame du collecteur

$$T = \frac{\gamma \cdot 60}{\pi D_2 n} = \frac{\gamma}{\gamma_1} \cdot \frac{60}{N_2 n}$$

Remarquons ici que, pour les machines avec l'enroulement série-parallèle du professeur Arnold, on doit au moins prendre $\frac{\gamma}{\gamma_1} = 1$, bien que la véritable valeur de la fraction soit inférieure à 1.

3. *Calcul du coefficient de self L.* — Ce calcul semble laborieux à première vue : il est vrai que la difficulté existe surtout pour les induits lisses pour lesquels on devra se contenter d'une approximation plus ou moins grande : pour les induits dentés les condi-

[1] *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, janvier 1899.

tions sont infiniment plus favorables et le calcul peut permettre de s'approcher beaucoup plus de la réalité.

Reprenons l'équation (1) qui permet de calculer la tension induite

$$L \frac{dI_3}{dt} = \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8}$$

Le produit $L dI_3$ représente le flux auquel est soumis chaque conducteur de la bobine court circuitée. Prenons par exemple le cas d'un induit denté (fig. 8). Un simple coup

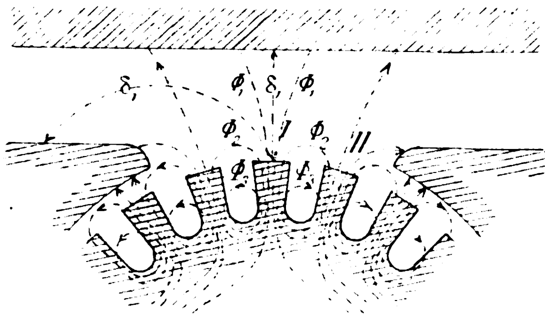


Fig. 8.

d'œil nous apprend que nous avons affaire à trois champs différents Φ_1, Φ_2, Φ_3, dont le premier Φ_1 est produit par le nombre total d'ampères tours situés entre deux zones neutres (réaction d'induit) : pour les deux autres Φ_2 et Φ_3 n'interviennent évidemment

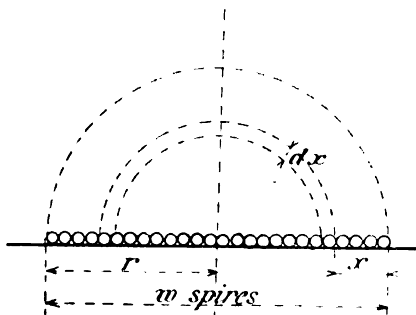


Fig. 9

que les ampères tours d'une seule dent. Par analogie, nous considérerons le coefficient de self L comme la somme de trois coefficients partiels L_1, L_2 et L_3 séparément calculables.

Voici les notations adoptées :

D diamètre extérieur de l'induit en cm.

l longueur de l'induit.

N nombre de conducteurs périphériques.

N_1 nombre de dents.

N_2 nombre de segments au collecteur.

W nombre de conducteurs par dent.

$2p$ nombre de pôles.

$2p_1$ nombre de circuits en parallèle.

K nombre de spires par cm de longueur.

Le genre de construction de l'induit étant toujours choisi, le calcul du coefficient de self se ramènera toujours à l'un des quatre cas suivants :

A. *Induits lisses.*

$$L = \int_{x=0}^{x=r} \frac{4\pi}{10} \cdot 2(r-x) K \frac{l_1 dx}{(r-x)\pi} \cdot 2 \frac{(r-x) K}{10^8}$$

$$= 0,8\, l K^2 r^2 10^{-8}$$

$$= 0,2\, w^2 l^2 10^{-8}.$$

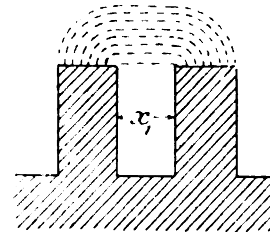


Fig. 10.

B. *Induits dentés.* — Dispersion extérieure (fig. 10).

$$L = \int_{x=0}^{x=x_2} \frac{4\pi}{10} \cdot w \cdot \frac{l dx}{\pi x + x_1} \cdot \frac{w}{10^8}$$

$$= 0,92\, w^2 l \cdot \log\left(\frac{\pi x_2 + x_1}{x_1}\right) 10^{-8}.$$

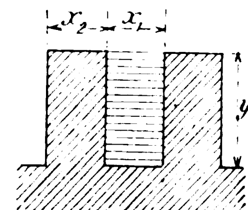


Fig. 11.

Dispersion extérieure (fig. 11).

$$L = \int_{x=0}^{x=y} \frac{4\pi}{10} (y-x) K \frac{l dx}{x_1} \cdot \frac{(y-x)}{10^8} K$$

$$= 0,42\, w^2 \frac{l y}{x} 10^{-8}.$$

C. *Induits à dents demi-fermées.* — Dispersion entre les pointes des dents

$$L = 1{,}26\, w^2 \frac{al}{x_1}\, 10^{-8}$$

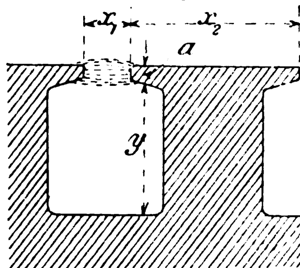


Fig. 12.

Il faut enfin considérer la dispersion vers les extrémités polaires ou les culasses, laquelle l'emporte généralement sur les dispersions précédemment étudiées.

Soit $\mathfrak{B}$ l'induction maxima produite dans la zone neutre par la réaction d'induit.

$$\mathfrak{B} = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{IN}{2p.2p_1} \cdot \frac{1}{2\delta_1}$$

Par δ_1 on doit, suivant la machine, considérer la longueur de la ligne de force vers les culasses ou vers les becs polaires si ceux-ci sont plus rapprochés.

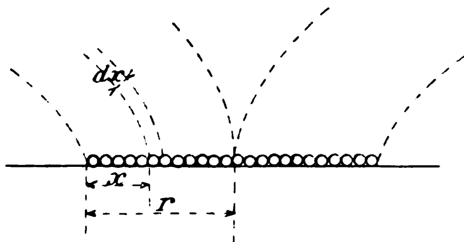


Fig. 13.

Pour l'induit lisse, on a donc

$$L = \int_{x=0}^{x=r} \frac{\mathfrak{B} l_1 (r - x)\, K dx}{\frac{I}{2p_1} \cdot 10^8} \qquad (12)$$

$$= 0{,}16 \frac{N}{p} \cdot \frac{lr}{\delta_1}\, w.10^{-8}.$$

Pour les induits dentés, le calcul présentera une certaine indétermination provenant de ce que la distribution des lignes de force n'est pas la même dans les dents et dans le noyau.

Pour rendre le calcul plus facile, nous supposerons que les lignes de force entrent

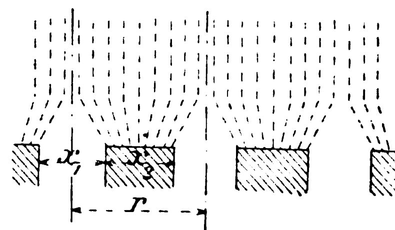


Fig. 14.

exclusivement par les dents et se distribuent régulièrement dans l'entrefer (fig. 14).

$$L = \mathfrak{B} \frac{rl_1}{2}\, w.\, 10^{-8}$$

$$= 0{,}16 \frac{N}{p} \frac{lr}{\delta_1}\, w.\, 10^{-8}. \qquad (13)$$

Nous arrivons au même résultat qu'avec un induit lisse.

Il faut remarquer que le coefficient de self induction, calculé d'après les équations (12 et 13) est généralement trop grand, parce que le flux Φ_1 entoure tout l'induit. Aussi prendra-t-on pour ce coefficient une valeur à peu près moitié [1].

---

[1] M. Fischer explique que cette modification n'est pas arbitraire et qu'elle se justifie par l'analogie avec des transformateurs ou des moteurs polyphasés dont le secondaire est fermé en court-circuit. Le coefficient de self-induction :

$$L = L_1 \left[1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{R_1 T}{N_2 L_1} \right)^2 + 1 \right] \nu_1 \nu_2} \right].$$

La dispersion est en général assez grande et plus grande que dans les moteurs à champ tournant : si on prend alors $v_1 = v_2 = 1{,}4$ et qu'on néglige $\frac{RT}{N_2 L_1}$ devant l'unité on obtient :

$$L_1 = 0{,}5\, L_1.$$

Ici, L_1 est le coefficient de self-induction de la bobine primaire (dans notre cas, il vaut celui d'une des bobines).

L_2 est le coefficient de self du circuit secondaire

$$L_2 = N_2^{\,3} L_1$$

R_1, R_2 — résistances $R_2 = N_2 R_1$.

$v_1\, v_2$ — coefficients de dispersion d'Hopkinson.

***

Dans les induits en anneau, il y a encore dispersion à l'intérieur de l'induit, de sorte qu'on peut distinguer deux ordres de dispersion.

a. Dispersion à l'intérieur de l'enroulement.

b. Dispersion provenant de l'onde.

Pour calculer facilement, sans longues considérations, le coefficient de self-induction d'une machine, on pourra avoir recours aux tableaux ci-joints, dont l'exemple numérique indique bien l'usage.

Tableau des coefficients de self-induction pour une seule bobine d'induit.

A. — Induits lisses.

	POUR LA CARCASSE $L_1 = \frac{DK_1}{p\delta_1}\left(\frac{N}{N_2}\right)^2 l \frac{p}{p_1} 10^{-8}$	$L_2 = K_2\left(\frac{N}{N_2}\right)^2 l \frac{p}{p_1} 10^{-8}$
Anneau Gramme : $N_1 = N_2$	$K_1 = 0{,}25$	$K_2 = 0{,}2$
Tambour : $N_1 = N_2$ (enroulement en deux couches)	$K_1 = 0{,}25$	$K_2 = 0{,}2$
Tambour : $N_1 = 2\,N_2$ (enroulement en une seule couche)	$K_1 = 0{,}25$	$K_2 = 0{,}1$

Exemple. — Les données d'une machine à

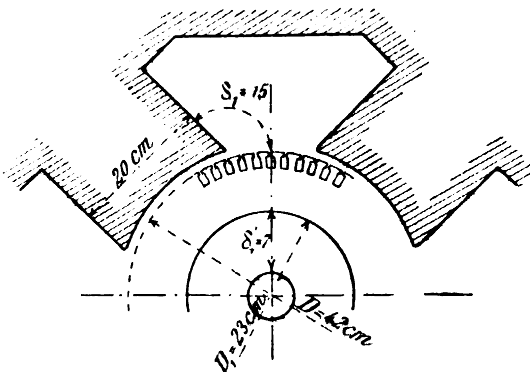


Fig. 15.

4 pôles et 4 balais (fig. 15 et 16) sont les suivantes :

Nombre total de conducteurs $N = 256$

Nombre de dents $= N_1$

Nombre de lames au collecteur N_2 $\Big\} = 64$.

$D = 42 \qquad \delta_1 = 15 \qquad \delta'_1 = 7.$

Détermination du coefficient de self.

a. Relativement au pôle,

$$K_1 = 0{,}25$$

$$L_1 = \frac{D}{p\delta_1}.\,K_1.\left(\frac{N}{N_2}\right)^2.\,l_1.\,\frac{p}{p_1}.\,10^{-8}$$

$$= \frac{42}{2{,}15}\,0{,}25\left(\frac{256}{64}\right)^2.\,23.\,\frac{2}{2}.\,10^{-8}$$

$$= 0{,}35 \times 3{,}68.10^{-6}$$

$$= 1{,}3.10^{-6}.$$

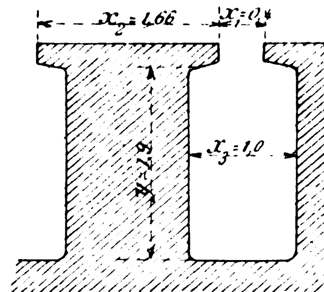


Fig. 16.

b. A l'extérieur des dents,

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{0{,}4}{1{,}66} = 0{,}24 \qquad K_2 = 1{,}1$$

$$L_2 = K_2\left(\frac{N}{N_2}\right)^2.\,l_1.\,\frac{p}{p_1}.\,10^{-8}$$

$$= 1{,}1 \times 3{,}68.10^{-6}$$

$$= 4{,}0.10^{-6}.$$

c. A l'intérieur des dents,

$$\frac{y}{x_3} = \frac{1{,}9}{1} = 1{,}9;\ K_3 = 0{,}84 \text{ approx.}$$

$$L_3 = 0{,}84 \times 3{,}68.10^{-6}$$

$$= 3{,}1\,10^{-6}.$$

B. Induits dentés.

	POUR LA CARCASSE $L_1 = \frac{DK_1}{p\delta_1} \left(\frac{N}{N_2}\right)^2 l \frac{p}{p_1} 10^{-8}$	$L_2 = K_2 \left(\frac{N}{N_2}\right)^2 l \frac{p}{p_1} 10^{-8}$			$L_3 = K_3 \left(\frac{N}{N_2}\right)^2 l \frac{p}{p_1} 10^{-8}$			
		$\frac{x_1}{x_2} = 0,8$	1	1,2	$\frac{y}{x} = 4$	3	2,5	2
Anneau Gramme : $N_1 = \frac{1}{2} N_2$	$K_1 = 1$	$K_2 = 2,56$	2,35	2,08	$K_3 = 6,72$	5	4,2	3,36
» $N_1 = N_2$.	$K_1 = 0,25$	$K_2 = 0,64$	0,57	0,52	$K_3 = 1,68$	1,26	1,05	0,84
» $N_1 = 2N_2$	$K_1 = 0,25$	$K_2 = 0,32$	0,29	0,26	$K_3 = 0,84$	0,63	0,52	0,42
Tambour : $N_1 = N_2$	$K_1 = 0,25$	$K_2 = 0,64$	0,57	0,52	$K_3 = 1,68$	1,26	1,05	0,84
» $N_1 = 2N_2$.	$K_1 = 0,25$	$K_2 = 0,32$	0,29	0,26	$K_3 = 0,84$	0,63	0,52	0,42

C. — Dents demi-fermées.

		POUR LA CARCASSE $L^{r} = \frac{DK_1}{p\delta_1} \left(\frac{N}{N_2}\right)^2 l_1 \frac{p}{p_1} 10^{-8}$	$L_2 = K_2 \left(\frac{N}{N_2}\right)^2 l \frac{p}{p_1} 10^{-8}$			$L_3 = K_3 \left(\frac{N}{N_2}\right)^2 l \frac{p}{p_1} 10^{-8}$			$L_4 = K_4 \left(\frac{N}{N_2}\right)^2 l \frac{p}{p_1} 10^{-8}$			
			$\frac{x_1}{x_2} = 0,1$	0,2	0,3	$\frac{y}{x_3} = 2,5$	2	1,5	$\frac{a}{x_1} = 0,2$	0,4	0,6	0,8
Anneau	$N_1 = \frac{1}{2} N_2$.	$K_1 = 1$	$K_2 = 5,6$	4,4	4	$K_3 = 4,2$	3,36	2,52	$K_4 = 1$	2	3	4
—	$N_1 = {}_2$ . . .	$K_1 = 0,25$	$K_2 = 1,4$	1,1	1	$K_8 = 1,05$	0,84	0,63	$K_4 = 0,25$	0,5	0,75	1
=	$N_1 = 2N_2$ . .	$K_1 = 0,25$	$K_2 = 0,7$	0,55	0,5	$K_3 = 0,52$	0,42	0,32	$K_4 = 0,13$	0,25	0,38	0,5
Tambour	$N_1 = N_2$. . .	$K_1 = 0,25$	$K_2 = 1,4$	1,1	1	$K_3 = 1,05$	0,84	0,63	$K_4 = 0,25$	0,5	0,75	1
—	$N_1 = 2N_2$. .	$K_1 = 0,25$	$K_2 = 0,7$	0,55	0,5	$K_3 = 0,52$	0,42	0,32	$K_4 = 0,13$	0,25	0,38	0,5

d. Aux pointes des dents,

$$\frac{x}{x_1} = \frac{0,2}{0,4} = 0,5; \quad K_4 = 0,62$$
$$L_4 = 0,62 \times 3,68 . 10^{-6}$$
$$= 2,4 \; 10^{-6}.$$

e. A l'intérieur de l'induit, de bobine à bobine,

$$K'_2 = 0,2$$
$$L_5 = 0,2 \times 3,68 . 10^{-6}$$
$$= 0,7 \; 10^{-6}.$$

f. A l'intérieur de l'induit, action de l'onde.

$$K'_1 = 0,25$$
$$L_6 = \frac{23}{2,7} . 0,25 \times 3,68 . 10^{-6}$$
$$= 1,5 . 10^{-6}$$

Total : $L = \Sigma L_1 = 13,0 \; 10^{-6}$.

d. *Calcul de* $\frac{r_3 T}{L} = \theta_1$. — En faisant le produit $r_3 \times T \times L$, puis multipliant le numérateur et le dénominateur par $\frac{\pi D . \beta \mathfrak{B}}{2p}$, on arrive à

$$\theta_1 = \frac{r_3 T}{L} = \frac{1}{k} . \frac{\gamma}{\gamma_1} . \frac{p_1}{p} \frac{\beta \varepsilon \mathfrak{B}}{\left(\frac{DK_1}{p\delta_1} + K_2 + \ldots\right)} . \quad (14)$$

k. Nombre d'ampères-tours par cm de la circonférence de l'induit.

e. *Calcul de* $\frac{rT}{L} = \theta$. — D'après ce qui a été indiqué précédemment $\theta = \frac{1}{\alpha} \theta_1$ mais α n'est pas connu. — On peut faire autrement en écrivant

$$\gamma l_1 = s . \frac{I}{p_1}$$

s. Nombre de $\overline{cm}^2$ par ampère : on a donc

$$\theta = \frac{rT}{L} = \frac{1}{K} . \frac{\gamma}{\gamma_1} . \frac{\rho \beta \mathfrak{B}}{4spE} \frac{N_2}{\left(\frac{DK}{p\delta_1} + K_2 + \ldots\right)} . \quad (15)$$

C'est analogue au calcul de θ_1, mais la surface des balais a été exprimée en fonction du courant.

f. Valeur de E_2. — L'expression de E_2, si elle n'est pas impossible, est au moins très compliquée. — On peut simplifier un peu le problème, sans trop modifier le résultat dans les cas ordinaires. Les formules ne donnent de résultats sérieux que dans les cas où $\frac{c}{\delta}$ est > 4. Le nombre de lames au collecteur ne doit pas être inférieur à 35 ou 40.

Considérons (fig. 17) un point à distance

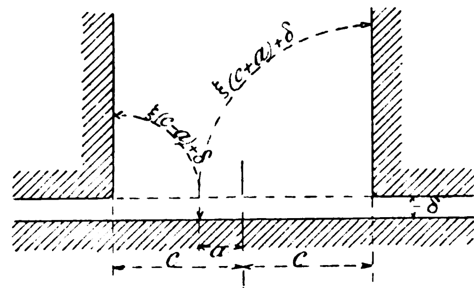


Fig. 17.

a de la zone neutre : ce point est soumis à l'action des 2 pôles. L'induction sous le pôle étant $\mathfrak{B}$, en ce point, elle vaut

$$\mathfrak{B}\delta \left[\frac{1}{\xi(c-a)+\delta} - \frac{1}{\xi(c+a)+\delta} \right].$$

Si on néglige δ à côté de ξc, on obtient

$$E_t = \frac{lD\pi n \mathfrak{B}}{60} . \frac{\delta}{N_2 \xi} \left(\frac{1}{c-a} - \frac{1}{c+a} \right) 10^{-8}$$

ce qu'on peut écrire

$$E_t = E . \frac{2p_1 \delta}{pN_2 \xi} \left(\frac{1}{c-a} - \frac{1}{c+a} \right).$$

(*A suivre.*)

Jacques GUILLAUME,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

SUR L'INDUCTION ÉLECTROSTATIQUE OU MAGNÉTIQUE

ET SUR LE DIAMAGNÉTISME (¹)

L'induction électrostatique. — Imaginons deux pôles ($\varepsilon\,\varepsilon$) électriques (foyers de tubes de force électrostatique), placés successivement dans l'air et dans un diélectrique quelconque (A) ; les forces F_{air} et F_A des réactions ne seront pas égales ; si elles sont dans le rapport (K : 1), on dit que (K) est la valeur de la capacité spécifique inductive du diélectrique (A). Pour que la force dans l'air soit (F_A) ou $\left(\frac{F_{air}}{K}\right)$, il faut prendre les pôles $\left(\frac{\varepsilon}{\sqrt{K}}\right)$ et $\left(\frac{\varepsilon}{\sqrt{K}}\right)$ et comme cette force est la résultante des réactions entre les lignes de Faraday, il faut qu'il y ait égalité des tensions et des pressions dans les points correspondants des champs du pôle (ε) dans le milieu (A) et du pôle $\left(\frac{\varepsilon}{\sqrt{K}}\right)$ dans l'air. L'intensité du champ, qui se mesure par la force d'action sur le pôle-unité, s'exprime par $\left(\frac{\varepsilon}{\sqrt{K}} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{r^2}\right)$ dans l'air et par

$$\left(\frac{\varepsilon}{\sqrt{K}} \cdot \frac{1}{\sqrt{K}} \cdot \frac{1}{r^2}\right)$$

dans (A) ; si le pôle-unité, pour le dernier milieu est choisi par sa réaction dans ce même milieu, alors l'intensité s'exprime par la formule $\left(\frac{\varepsilon}{\sqrt{K}} \cdot \frac{1\sqrt{K}}{\sqrt{K}} \cdot \frac{1}{r^2}\right)$, c'est-à-dire la même valeur que celle du champ du pôle $\left(\frac{\varepsilon}{\sqrt{K}}\right)$ dans l'air, ce qui est conforme à l'identité des champs.

La tension et la pression P dans l'air ont la valeur $\frac{1}{8\pi} F^2{}_{air}$, tandis que la même formule $\left(\frac{1}{8\pi} F^2{}_A\right)$ ou $\left(\frac{1}{8\pi} \cdot \frac{F^2{}_{air}}{K}\right)$, appliquée pour le milieu (A) donne une valeur (K) fois moindre, de sorte qu'elle doit être multipliée par (K) ; si l'on choisissait pour chaque milieu un pôle-unité spécifique on pourrait utiliser la même formule pour tous les milieux ; Maxwell donne la formule $\left(\frac{K}{8\pi} \cdot F_A\right)$ pour la valeur de la pression dans le milieu (A). Voici une conséquence : pour avoir les mêmes pressions dans quelque partie de l'espace occupée successivement par le milieu (A) et puis par l'air, il faut que les nombres des tubes utilisés soient dans le rapport $\left(\frac{\sqrt{K}}{1}\right)$. Au lieu de comparer le champ du pôle (ε) dans l'air avec le champ du même pôle dans le milieu (A) on peut le comparer avec le champ identique du pôle $\left(\frac{\varepsilon}{\sqrt{K}}\right)$ dans l'air et on a cette conséquence : si un même espace est occupé successivement par le milieu (A) et puis par l'air, et si les mêmes tubes remplissent cet espace, les pressions sont dans le rapport $\left(\frac{K}{1}\right)$. Les intensités des champs sont dans le même rapport ; en effet dans le milieu (A) nous avons $F_A = \frac{E}{K} \cdot \frac{1}{r^2}$ et dans l'air $F_{air} = \frac{E}{r^2}$; cependant d'après la règle que les intensités sont comme les racines carrées des pressions il faudrait avoir un autre rapport ; cela provient de l'adoption de la même unité pour tous les milieux ; si c'était l'unité spéciale citée plus haut on aurait pour l'intensité du champ dans le milieu (A) : $F_A = \frac{E}{\sqrt{K}} \cdot \frac{1}{r^2}$, et alors les deux intensités seraient dans le rapport $\frac{\sqrt{P_A}}{\sqrt{P_{air}}}$.

Imaginons une aiguille diélectrique (A) infiniment mince, placée le long des lignes d'un champ électrique formé dans l'air. Les lignes du champ se précipitent latéralement jusqu'à l'égalisation des pressions ; le rapport du nombre des lignes qui sont accumulées dans l'aiguille diélectrique au nombre des lignes existant d'abord dans le volume

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique* du 8 juillet, p. 10.

de celle-ci caractérise la faculté du diélectrique d'absorber les tubes électriques ou la *perméabilité* électrique ; ce rapport est comme on a vu égal à $(\sqrt{K})$.

Une plaque diélectrique infiniment mince et normale aux lignes du champ ne change pas le champ, parce que les lignes du champ ne peuvent pas pénétrer à l'intérieur, maintenant le même nombre de lignes percent l'espace occupé par la diélectrique et par l'air ; par suite la tension et la pression sont devenues (K) fois moindres et les lignes extérieures donnent naissance à la surface de séparation, aux forces pondéromotrices, qui tendront la plaque avec une intensité $\left[\frac{K-1}{K}\right] P_{air}$. Si le milieu (A) est indéfini et si l'on y forme deux champs, un comme dans l'aiguille et l'autre comme dans la plaque, à la condition que l'une et l'autre soient placées autour du même point du champ, on a pour le rapport des intensités de ces champs le nombre $\sqrt{K} = \left[F_{air} \frac{1}{\sqrt{K}} : F_{air} \frac{1}{K}\right]$, c'est-à-dire la perméabilité électrique du milieu ; le rapport des pressions est égal à (K).

Tout corps formé de la matière (A), placé dans le champ, absorbe latéralement les lignes du champ, mais la pression à l'intérieur sera toujours moindre que celle du champ et plus grande que la fraction $\left(\frac{1}{K}\right)$ de celle-ci ; la distribution des pressions sera fonction de la forme du corps et du champ extérieur.

Les *mouvements des diélectriques* dans le champ électrique se passent comme ceux des corps magnétiques dans le champ magnétique.

Si l'on pratique des fissures, remplies d'air, dans les diélectriques comme on l'a fait dans les corps magnétiques on obtient les mêmes résultats, c'est-à-dire que les intensités des champs dans la fissure normale aux lignes et dans la fissure parallèle à ces lignes sont dans le rapport $(\sqrt{K})$. En considérant les conducteurs comme des diélectriques d'une énorme capacité inductrice et dans lesquels les tubes se rompent, on voit que les lignes du champ, dans lequel est placé un conducteur, se précipitent avec une grande vitesse vers ce dernier et se détruisent dans sa masse (A). Pendant la pénétration latérale des lignes, la condensation des lignes dans l'air près des extrémités présente une résistance croissante à l'absorption jusqu'à ce que cette dernière ne soit pas terminée. Les lignes de Faraday existent peut-être dans les conducteurs, mais si la limite maximum des tensions au-dessous de laquelle les lignes existent est très petite, il est très difficile de constater ce fait. Si même cette limite n'est pas nulle, vu sa petitesse extrême, on peut toujours dire que la force pondéromotrice appliquée à un élément (dw), de la surface du conducteur est égale à $T dw$, où T est la tension des lignes de force à l'entrée ou à la sortie du conducteur.

Soit un fil conducteur infiniment mince placé dans un champ électrique parallèlement aux lignes ; ces dernières seront absorbées et anéanties dans le conducteur, mais comme les bases du fil sont infiniment petites, l'absorption se prolonge indéfiniment et l'on a un courant continu d'une intensité infiniment petite. On peut avoir un courant fini dans un courant discontinu de dimensions finies ; si, par exemple, on place un anneau métallique discontinu autour d'une tige de fer, parcourue par un flux magnétique alternatif et si la distance mutuelle des faces de l'anneau est infiniment petite on a un courant alternatif d'une intensité finie, qui a la même valeur que le courant dans un anneau plein.

Si une feuille assez longue d'or ou d'aluminium telle qu'on les emploie pour les électroscopes est placée dans un champ on peut avoir un courant temporaire appréciable ; par exemple les feuilles des électroscopes Exner peuvent toucher les plaques communiquant avec la terre et dans ce cas elles sont brûlées. Au moment du contact on voit une toute petite étincelle, pendant laquelle le champ près de l'extrémité est brusquement anéanti ; la résistance de ce champ à la pénétration des lignes dans la feuille est aussi brusquement détruite ce qui

produit une brusque absorption des lignes, fait que l'on doit rapprocher de la destruction de la feuille. Soit une plaque conductrice électrisée, de tous les points de laquelle s'échappent les lignes de Faraday; si nous mettons à quelque distance, et parallèlement, une plaque conductrice non électrisée, les lignes du champ sont absorbées par cette dernière en se déplacant perpendiculairement à la plaque et à leur propres directions; le champ entre les plaques est renforcé, tandis que hors de cet espace le champ est affaibli. Ce processus de la condensation rend compte de la résistance éprouvée de la part du faisceau condensé. En approchant la seconde plaque vers la première on diminue la surface latérale, du faisceau des lignes condensées entre les plaques, par suite on diminue la résistance à la pénétration des lignes dans la plaque et le champ entre les plaques devient plus intense. Si la seconde plaque communique avec la terre, la résistance à la pénétration devient encore moindre et pour une distance infiniment petite toutes les lignes sont entre les plaques et le champ extérieur s'annule.

Vu l'énorme capacité inductive des conducteurs vis-à-vis de l'air il ne se manifeste aucune différence entre les métaux et les plaques fines et épaisses; *peut-être les plus fines feuilles d'or ou d'aluminium pourraient-elles montrer l'influence de l'épaisseur.* Posons entre les plaques d'un condensateur à air une couche diélectrique (A), parallèle aux plaques; comme elle est plus perméable aux lignes que l'air interposé, ces dernières pénètrent latéralement et, dans l'état d'équilibre, le champ entre les plaques et la couche est renforcé et par suite l'attraction mutuelle des plaques est aussi augmentée, tandis que le champ extérieur s'affaiblit davantage.

Considérons un condensateur dont le collecteur a une charge donnée et posons entre les plaques une couche diélectrique (A) d'abord directement en contact avec celle-ci puis en laissant des couches infiniment minces d'air, l'absorption des lignes de force sera la même dans les deux cas; mais les attractions des plaques seront différentes: en effet, comme les champs dans les diélectriques sont identiques, les tensions des lignes dans les couches aériennes sont (K) fois plus grandes que celles dans le diélectrique au contact direct et par suite l'attraction dans le cas des couches intermédiaires aériennes est aussi (K) fois plus grande. A propos de cette assertion on peut remarquer que même dans le contact il y a toujours un espace intermoléculaire entre le diélectrique et les plaques et que les tensions des lignes dans cet espace pourraient bien être aussi (K) fois plus fortes que dans le diélectrique, de sorte que les forces d'attraction des plaques seront les mêmes dans les deux cas.

On a vu que, dans les circonstances les plus aisées pour la pénétration des lignes magnétiques ou électriques dans les corps paramagnétiques ou diélectriques, le nombre maximum des lignes absorbées ne dépasse pas $\sqrt{\mu}$ ou $\sqrt{K}$ fois celui qui était dans le même volume d'air. Ce maximum était déduit de la supposition que pendant l'équilibre les pressions du champ à l'intérieur des corps étaient égales aux pressions à l'extérieur. Cependant il y a des cas où entre les pressions des lignes contiguës qui sont dans les meilleures conditions pour l'échange des pressions, existe une différence finie, c'est-à-dire un saut brusque dans la valeur de la pression. Comme exemple de pareils cas. soit la distribution des pressions dans le champ d'un condensateur, dont les plaques sont à des potentiels constants, et dont l'espace intérieur est occupé dans une partie (A) par l'air et dans l'autre (D) par un diélectrique, comme dans l'expérience remarquable de M. Quincke.

On dit que les pressions dans les champs A et D (fig. 1) éprouvent un saut aux surfaces de séparation (*ab*) et (*cd*), en particulier que la pression dans le diélectrique est (*k*) fois plus grande que dans l'air et que là est l'origine de la compression de l'air. Supposons qu'un pôle-

unité parcourt le chemin (*mnop*, fig. 1), moitié dans l'air et moitié dans le diélectrique,

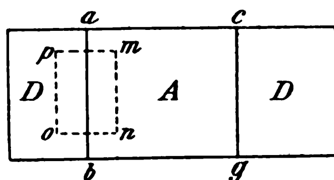


Fig. 1.

si F_{air} est la force appliquée sur le parcours (*mn*) le travail accompli par cette force est (*mn* F_{air}). Le travail sur le chemin (*op*) dépendra des tensions et des pressions dans le champ (D); si celles-ci ont les mêmes valeurs que dans le champ (A), la force appliquée au pôle (+ 1) est la $(\sqrt{K})^{me}$ partie de la force F_{air}; en effet le pôle-unité dans le diélectrique représente moins d'énergie et joue le rôle d'un pôle $\left(\frac{1}{\sqrt{K}}\right)$ dans l'air, mais comme les champs (D) et (A) sont supposés identiques la force appliquée sera la $(\sqrt{K})^{me}$ partie de la force (F_{air}); dans ce cas on recueillerait à chaque cycle (*mnop*) du travail; pour éviter cette absurdité il faut supposer que la force F_D est égale à F_{air} et comme les pressions du champ engendré par le pôle-unité sont devenues (K) fois moindre il faut que les tensions et les pressions du champ (D) soient (K) fois plus intenses. On exprime ce fait en disant que, comme la différence des potentiels en (A) et en (D) est la même, les forces (F_A et F_D) appliquées à un même pôle doivent être aussi les mêmes, et comme les pressions s'expriment par les formules $\frac{K}{8\pi}$ F_D et $\frac{1}{8\pi}$ FA, la pression (P_D) doit être égale à (K. ρA). Le principe de la conservation de l'énergie exige un saut brusque des pressions dans un cas analogue au précédent, quand entre les deux pôles d'un électro-aimant sont placées deux couches contiguës de perméabilités différentes, comme par exemple dans l'expérience de M. Quincke où l'air et la dissolution du sel de fer formaient des couches contiguës.

L'explication même de la compression des bulles d'air par l'influence des lignes plus tendues et plus pressées sur l'air n'est pas très compréhensible; il est beaucoup plus naturel que cet excès de pression s'échange entre les lignes de force dans l'air, jusqu'à l'égalisation. Il se présente une autre explication, qui n'exige aucun excès de pression de la part du liquide magnétique; en particulier, les lignes qui, à la surface de séparation, sortent du liquide pour entrer dans l'air augmentent brusquement leur tension P_τ et comme à présent les tensions des parties des lignes dans l'air ne s'équilibrent pas avec les tensions dans le liquide il doit naître une réaction entre ces parties et la couche superficielle du liquide, laquelle aura pour résultat une *tension superficielle du liquide* et la *compression* de la bulle. La réaction susdite est proportionnelle à P_τ, laquelle à son tour est proportionnelle au carré de différence des potentiels, et on voit que l'effet observé doit être proportionnel à ce carré, ce qui est conforme avec l'expérience.

M. Quincke pensait que ses expériences manifestent l'existence des pressions *transversales*, tandis que, d'après l'explication proposée elles démontrent celle des tensions *longitudinales*. La meilleure condition pour l'expérience est de former une grande et mince bulle, épousant la forme du disque, entourée de tous côtés de liquide, et disposée à la manière de M. Quincke; alors les lignes dans la bulle s'échapperont au moins en dehors, et la différence entre les champs sera à son maximum; si la compression se produit par l'action latérale des lignes plus pressées il vaudrait mieux, pour la même intensité du champ, placer une bulle plate parallèlement aux forces du champ, sous la condition de l'égalité des champs. Adoptant dans l'équilibre des deux champs contigus l'existence d'un saut dans la valeur des pressions, nous verrons que le nombre des lignes magnétiques, qui pénètrent dans un tore en fer, placé dans un solénoïde fermé, est bien (μ) fois plus grand que dans le volume égal d'air et que l'indication du galvanomètre balistique évalue le nombre (μ) mais non pas ($\sqrt{\mu}$). En

effet d'après l'hypothèse déjà faite l'équilibre des champs contigus dans le tore et dans l'air sera établi, quand la pression dans le premier champ deviendra (μ) fois la pression dans l'air et pour cela il faudra que le nombre des lignes qui ont pénétré devienne ($\sqrt{\mu}$) fois plus grand que celui qui était nécessaire pour l'égalité des pressions, c'est-à-dire qu'il sera justement μ fois plus grand que dans le volume d'air. Le raisonnement suivant conduit au même résultat : si nous condensons dans un volume d'air identique au volume du tore μ fois autant de lignes qu'il en renferme en réalité, la pression deviendra $(\mu)^2$ fois plus grande. En plaçant ce nouveau champ dans le même volume de fer, la pression deviendra (μ) fois moindre, c'est-à-dire (μ) fois plus grande que la pression à l'intérieur du solénoïde magnétisant. En adoptant ce principe, il faudra dire que dans le cas des expériences de M. Quincke le manque de pression du côté de l'air devait être compensé par la réaction entre la couche contiguë d'air et les lignes de force dans le liquide, laquelle réaction, se résumant dans une poussée contre cette couche, produirait la compression de la bulle. Cependant ce mode d'explication a lieu à la condition que les surfaces de séparation (*ab*) et (*cd*) (fig. 1) soient cylindriques et parallèles aux lignes du champ; en réalité elles sont courbées et ont la forme de la figure 2;

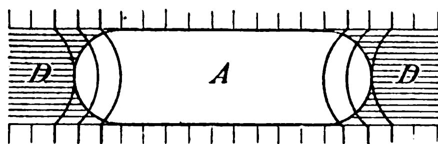


Fig. 2.

les lignes sortant du liquide se transforment en sens opposé de celui, donné dans cette note, elles éliminent leurs tensions et pour l'équilibre des parties restées dans le liquide il faudra faire intervenir les réactions entre ces parties et la couche superficielle d'air, lesquelles tendront à produire une expansion au lieu de la compression.

Bien que la différence forcée des potentiels entre les plaques d'un condensateur exige une brusque chute des pressions à la surface de séparation des deux corps juxtaposés dans le champ entre les armatures du condensateur, on peut présenter des objections contre l'hypothèse d'un lien entre cette chute et le principe de la considération de l'énergie.

1. Imaginons qu'un pôle-unité parcourt successivement les cycles fermés (1, 2, 3, 4, 1) (fig. 3) (1, 5, 6, 4, 1), (1, 7, 8, 4, 1), etc., tous

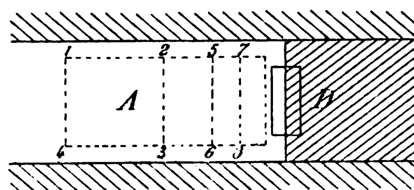


Fig. 3.

compris dans la section A (air); le travail total des forces électriques sur tous les parcours est zéro; comme un pôle n'est pas un point isolé, mais un foyer de déformations, qui se propagent jusqu'à l'infini, on voit que les forces appliquées au pôle-unité sont les résultantes des réactions entre le champ de ce pôle et les champs des deux espaces (A) et (D), et, si les tensions dans ce dernier sont inférieures à (μ) fois les tensions de (A), les forces sur les parcours (2, 3), (5, 6), (7, 8), deviennent de plus en plus faibles. Pour restituer les valeurs de ces forces, il faudra que les tensions des lignes du champ (A) soient de plus en plus grandes à mesure qu'elles approchent de la surface de séparation de même les tensions des lignes dans l'espace (D) deviennent de plus en plus grandes à mesure qu'elles s'éloignent de la surface de séparation.

De cette manière, on conçoit la coexistence d'une différence forcée des potentiels aux plaques du condensateur et de la transition graduelle des tensions, pendant le passage d'un diélectrique à un autre.

Il faut remarquer que cette manière d'envisager les forces appliquées à un pôle-unité atteint la formule $\left[\frac{K}{8\pi} F^2\right]$, donnée par Max-

****

well pour la valeur de la tension du champ en fonctions de la force (F), appliquée à un pôle-unité; en effet cette force est toujours la même entre les plaques, tandis que la tension change dans un même diélectrique.

Il nous semble que l'objection de la généralité de cette formule, qui résulte de la transition graduelle des tensions ne peut nuire à cette formule parce qu'on peut avoir des doutes au sujet de l'application de la formule aux cas des champs composés, développés dans les milieux hétérogènes et quand on envisage un pôle-unité comme foyer d'un champ propre.

Il y a encore une circonstance à remarquer. Imaginons deux sphères conductrices électrisées, placées dans un diélectrique, de manière que les moitiés des sphères sont dans le diélectrique (liquide) et les autres moitiés au dehors dans l'air; s'il y avait un saut des pressions à la surface de séparation de l'air et du diélectrique liquide alors les réactions entre les moitiés immergées seraient k fois plus grandes que les réactions entre les autres parties restées dans l'air.

De même, si deux aimants cylindriques étaient immergés jusqu'à leurs plans diamétraux dans une solution de sel de fer, les moitiés immergées éprouveraient une réaction μ fois plus grande que la réaction éprouvée par les parties restées dans l'air, le résultat de cette inégalité serait la rotation continuelle des sphères et des cylindres autour de leurs axes.

Wladimir de Nikolaïeve
Professeur à l'École militaire Paul, de Saint-Petersbourg.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Commutateur G.-A. Mower, pour la mise en marche et le réglage de la vitesse des moteurs d'ascenseurs électriques (¹).

Les divers organes de cet appareil occupent les deux faces d'un panneau a. Sur l'une d'elles (fig. 1) est fixée une série de touches de contact $c_1 \dots c_{10}$ sur lesquelles s'appuie un commutateur a_1, pivoté en son centre et portant en ce point une fourche a_4 où s'engage une came a_5 solidaire de l'axe a_2 de la poulie a_3 de la corde de commande R. L'autre face du panneau (fig. 2) porte une série de touches $b_2 b_3$, reliées à autant de résistances, sur lesquelles est libre de glisser un bloc de contact b_1 dont la chute trop brusque est modérée par l'amortisseur b_7. Une grande came b solidaire de l'axe a_2 (fig. 1) sert à ramener ce bloc b_1 à sa position primitive, opération qui s'exécute en même temps que la fermeture du commutateur par la corde R.

Le schéma de la figure 3 représente le mode de connexion des différents circuits. De la borne c, le courant de l'un des câbles d'amenée passe par c_1, a_1, c_5, 5 pour se rendre au

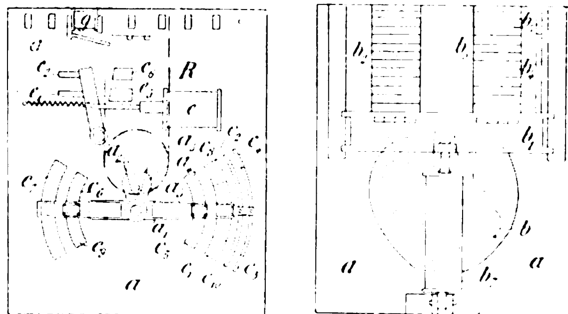


Fig. 1 et 2. — Commutateur Mower pour ascenseurs.

moteur f, de là, suit le fil 6 et traverse les résistances b_2, b_3 aux points de contact établis par b_1 pour revenir, par 7, l'électro g, 8, c_6, a_1, 9, l'enroulement en série f_1 du moteur f, e_6, e_3, e_5 au conducteur de sortie 5. Une partie du circuit en dérivation du moteur va de c_{10} par 10 et f_2 à la touche e_6; l'autre partie étant complétée par le jeu de l'électro e. Dans la position

(¹) Brevet anglais, n° 10.457, demandé le 6 mai 1898, accordé le 3 septembre 1898.

même qu'il occupe sur la figure, le commutateur a_1 a fermé le circuit d'une dérivation comprenant la borne c_3, les contacts d, d_1, 1, l'électro e, 2, les deux touches $b_4 b_5$ reliées par un contact b_5, de b_1 quand ce dernier est relevé, c'est-à-dire quand toutes les résistances sont dans le circuit de l'induit. De b_5, le circuit revient par 3 à la touche e_1 que l'armature e_3 de l'électro e relie à l'autre touche e_2 qui reçoit le fil de sortie 4. La résistance e_4 qui est greffée d'une part sur l'un des fils de

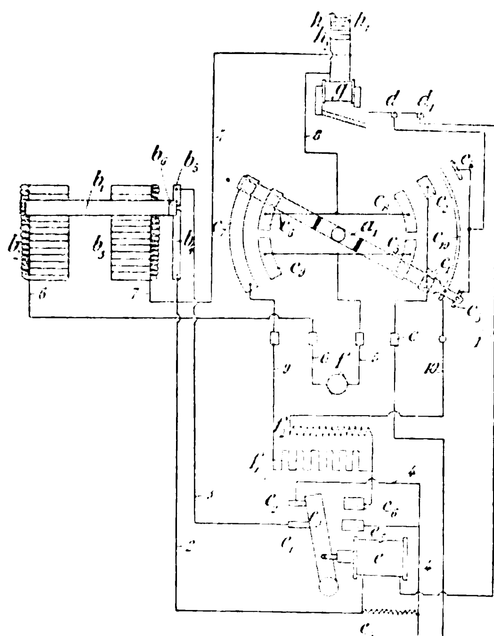


Fig. 3.

l'électro e et d'autre part sur le conducteur 4, a pour but, quand e a attiré son armature, de laisser néanmoins b_4 en communication avec le conducteur 4.

Au démarrage, le commutateur étant amené par la manœuvre de la corde de commande à la position qu'il occupe sur la figure, l'électro e devient actif et attire e_3 qui, de ce fait, ferme le circuit du moteur. Au même moment, la came b (fig. 2) a libéré b_1, lequel, en supprimant graduellement les résistances $b_2 b_3$ du circuit, rompt le contact de b_6 avec b_5 et de ce fait met la résistance e_4 en dérivation sur le circuit de l'électro e. Ce dernier ne reprendra donc sa puissance primitive que lorsque b_1 sera remonté de façon à rétablir le contact $b_6 b_5$. L'électro g, sur le circuit duquel se trouvent, en dérivation, une série de résistances h, h_1, h_2, n'entre en fonction que dans le cas d'insuffisance des résistances $b_2 b_3$ pour une trop grande intensité de courant. Dans ce cas, il devient actif et rappelle son armature dont l'extrémité, en rompant le contact de dd', ouvre le circuit du moteur. U.

Commutateur J.-H. Hindle et T. Mannock, pour le démarrage et la régulation des moteurs d'ascenseurs électriques (1).

Le rôle de cet appareil est, en fonctionnant en même temps que la mise en train du moteur, de mettre hors du circuit de ce dernier une série de résistances dont les valeurs correspondent à la puissance nécessaire à l'élévation, sans secousse, de la cage.

La figure 1 représente la disposition schématique des circuits. Sur les plots fixes C à C_1, des résistances R et des schunts S, S, Y glisse, entraîné par son poids, un bloc muni de contacts D, D_5 et de deux tiges guides : l'une, inférieure G, dont l'extrémité est terminée par un piston plongeant dans un amortisseur E ; l'autre, supérieure, servant par l'intermédiaire d'un levier U, articulé en W, à ramener D à sa position primitive. Cette dernière opération s'effectue à l'aide de la roue N sur laquelle s'enroule la corde de commande. L'axe de cette roue porte la came T agissant sur le levier U et une roue dentée P engrenant avec un secteur Q lequel actionne le commutateur M de prise de courant.

Au repos, les organes de l'appareil occupent la position indiquée par la figure 2. Pour la mise en marche, on fait exécuter à N un demi-tour dans un sens ou dans l'autre comme il est indiqué par la flèche. Le taquet du levier U, tombe alors dans l'évidement de T et le bloc DD_5 se trouvant libéré

(1) Brevet anglais, n° 28.457, demandé le 2 décembre 1897, accordé le 2 décembre 1898.

entre en fonction. L'arrêt se pratique par une manœuvre inverse de N ; la came T en agissant sur U ramène D à sa position primitive.

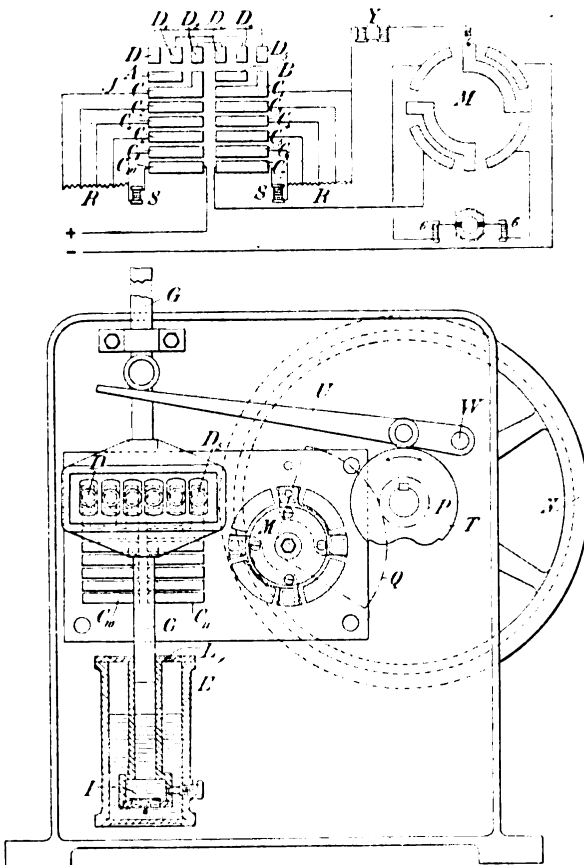


Fig. 1 et 2. — Commutateur Hindle et Mannock pour ascenseurs électriques.

Pour faciliter cette opération le corps de pompe de l'amortisseur est pourvu d'une soupape I permettant le passage rapide du liquide dans ce corps de pompe quand le piston est soulevé. U.

Répartition du courant et dépense d'énergie dans les induits à cage d'écureuil;

Par G. Roessler [1].

La cage d'écureuil (ou armature fermée sur elle-même en court-circuit) est employée dans les moteurs asynchrones tant polyphasés que monophasés.

L'influence de la perte d'énergie dans l'armature, pour tous ces moteurs, ne se borne pas à l'action exercée sur le rendement, mais elle agit aussi sur le glissement : on sait en effet que le rapport du glissement à la vitesse à vide, est égal au rapport de l'énergie absorbée dans l'induit à l'énergie totale absorbée : d'où l'importance de l'étude des pertes dans l'induit, et par suite de l'étude de la répartition du courant, répartition qui d'autre part règle la valeur du couple le long de la périphérie.

Cette répartition du courant est aussi compliquée que la construction de la cage d'écureuil est simple au point de vue mécanique.

En effet, dans chaque barre, le déplacement relatif de l'inducteur et de l'induit fait naître une force électromotrice et par suite un courant, qui se ferme par l'intermédiaire de toutes les autres barres ; ces barres ne se comportent pas toutes de la même façon, car la résistance qu'elles présentent comme conducteurs de retour varie avec leur éloignement de la barre considérée, à cause de la résistance des segments qui les relient entre elles. On voit donc que le courant dans une barre d'induit donnée, est la somme : 1° d'un courant principal, engendré par la force électromotrice induite par le champ, courant qui seul est fonction du point du champ inducteur où se trouve la barre en question ; 2° des courants dérivés, engendrés dans les autres barres, et utilisant la barre considérée comme conducteur de retour, courants qui dépendent, non de cette position dans le champ, mais de la distance aux barres où ils ont pris naissance et des résistances intermédiaires ; d'où on conclut que la répartition du courant total dans chaque barre, peut suivre une loi complètement différente de la distribution du champ magnétique le long de la périphérie de l'armature.

Pour simplifier l'étude de ce problème, nous traiterons successivement deux cas :

1° Le cas où l'on néglige la résistance

---

[1] *Electrotechnische Zeitschrift*, t. XIX, n° 45 et 46, p. 750 et 766, 10 et 17 novembre 1898.

des segments reliant les barres entre elles.

2° Le cas où l'on néglige la résistance des barres elles-mêmes.

Premier cas. — Avant d'aborder le cas général, prenons d'abord une armature comprenant un nombre pair de barres et placée dans un champ uniforme. Nous pouvons supposer que le champ est fixe et que l'armature tourne avec la vitesse de leur mouvement relatif.

Si le champ est dirigé du haut vers le bas, et que l'induit tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, les courants principaux seront dirigés comme l'indique la figure 1,

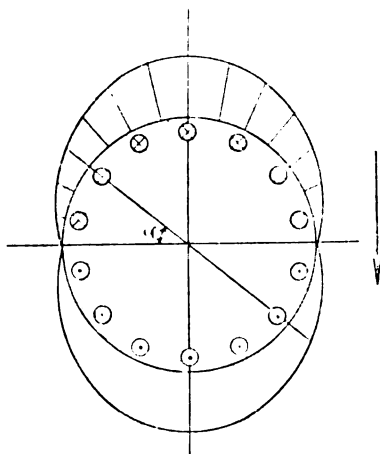


Fig. 1.

d'après le mode habituel, une croix désignant les courants qui s'enfoncent dans le tableau, et un point ceux qui se dirigent vers le lecteur. Les forces électromotrices seront données par

$$E_\alpha = \mathfrak{B} l v \sin \alpha,$$

$\mathfrak{B}$ étant l'induction, l la longueur de la barre, et v la vitesse ; $\mathfrak{B} \sin \alpha = \mathfrak{B}_\alpha$ peut être regardé comme une induction sinusoïdale ordinaire.

Le courant induit dans la barre α se répartit également dans les autres barres ; si ζ est le nombre des barres, et R la résistance de l'une d'elles, on voit de suite que la résistance totale opposée au courant en question sera

$$R + \frac{R}{\zeta - 1} = R \frac{\zeta}{\zeta - 1};$$

et la valeur de ce courant sera

$$\frac{\zeta - 1}{\zeta} \frac{E_\alpha}{R};$$

chaque courant dérivé sera la $\zeta - 1^{\text{ème}}$ partie de celui-là ; soit

$$-\frac{1}{\zeta} \frac{E_\alpha}{R}$$

nous mettons le signe — car ce courant est dirigé en sens inverse de E_α, ce qui est évident.

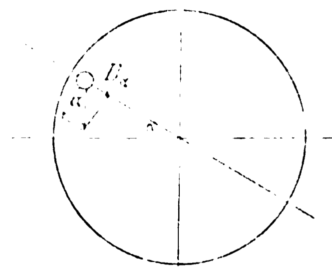


Fig. 2.

Faisons maintenant la somme des courants qui parcourent un inducteur donné α. On voit immédiatement dans le cas de la figure 1, que les barres symétriques par rapport au diamètre α, tendent à envoyer des courants égaux et contraires dans la barre α, de sorte que finalement, il n'y a à tenir compte que du courant donné par la barre diamétralement opposée $\pi + \alpha$, dont la valeur est

$$-\frac{1}{\zeta} \frac{E_{\alpha+\pi}}{R} = +\frac{1}{\zeta} \frac{E_\alpha}{R},$$

le courant total dans α est donc

$$i_\alpha = \frac{E_\alpha}{R}.$$

d'où ce résultat remarquable : le courant dans chaque barre est le même que si ses deux extrémités étaient reliées directement en court-circuit sur elles-mêmes.

Si on désigne par $M(i_\alpha^2)$ la valeur moyenne du carré i_α^2 pendant une révolution, l'énergie absorbée par seconde, sera

$$W = \zeta M(i^2_\alpha) R = \zeta \frac{M(E^2_\alpha)}{R}.$$

Cette démonstration suppose que le nombre des barres est pair, et le champ bipolaire. Nous allons l'étendre à un nombre quelconque de barres, et à un champ sinusoïdal multipolaire.

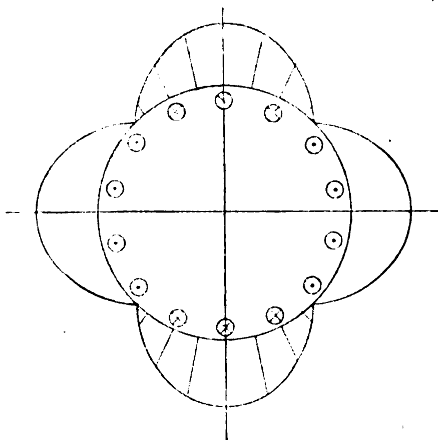


Fig. 3.

Si on compte α à partir de la ligne neutre, le champ a pour valeur

$$\mathfrak{B}_\alpha = \mathfrak{B} \sin p\alpha,$$

p étant le nombre de paires de pôles. Dési-

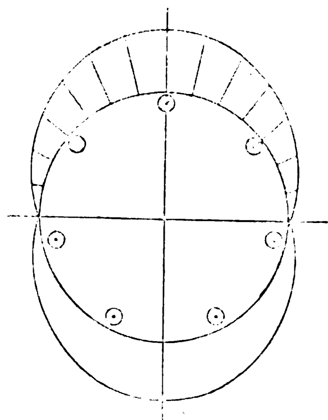


Fig. 4.

gnons par δ l'angle qui sépare deux barres.

$$\delta = \frac{2\pi}{\zeta},$$

Prenons la barre pour laquelle à un instant donné $\alpha = \gamma$, la barre voisine correspond à

$$\alpha = \gamma + \delta$$

la troisième

$$\alpha = \gamma + 2\delta, \text{ etc.}$$

la $n^{ème}$

$$\alpha = \gamma + (n-1)\delta$$

Alors

$$\mathfrak{B}_n = \mathfrak{B} \sin [p\gamma + (n-1) p\gamma] = \mathfrak{B} \sin [\varepsilon + (n-1)\theta]$$

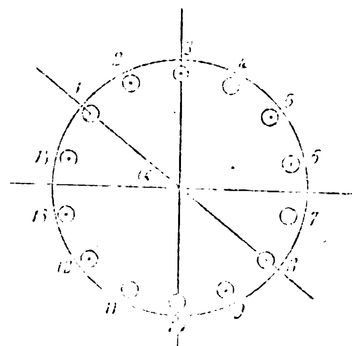


Fig. 5.

en posant pour abréger

$$p\gamma = \varepsilon \qquad p\delta = \theta,$$

et la force électromotrice induite dans la $n^{ème}$ barre en posant $\mathfrak{B} v l = E$,

$$E_n = E \sin [\varepsilon + (n-1)\theta].$$

Cherchons le courant dans la barre γ que nous appellerons barre n° 1.

Le courant principal est

$$\frac{\zeta - 1}{\zeta} \frac{E_1}{R};$$

le courant dérivé envoyé par la bare n est

$$-\frac{1}{\zeta} \frac{E_n}{R},$$

et le courant total dans 1 est finalement

$$i_1 = \frac{\zeta - 1}{\zeta} \frac{E_1}{R} - \frac{1}{\zeta} \frac{E_2 + E_3 + \dots + E_\zeta}{R}$$
$$= \frac{E_1}{R} - \frac{1}{\zeta} \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_\zeta}{R}$$

ζ n'étant pas nul, on voit que pour que l'équation

$$i_1 = \frac{E_1}{R}$$

déjà trouvée dans le premier exemple, s'ap-

plique au cas général, il faut et il suffit que l'on ait

$$\Sigma E_k = 0.$$

Or cette somme peut s'écrire

$$\sin \varepsilon + \sin [\varepsilon + \theta] + \dots + \sin [\varepsilon + (\gamma - 1) \theta]$$

et on sait qu'une telle somme de sinus en progression arithmétique, et comprenant un nombre entier de circonférences, est nulle.

Remarquons aussi que la loi $i_n = \frac{E_n}{R}$, s'applique à toute courbe de répartition du champ, car une quelconque de ces courbes est nécessairement simplement périodique et par suite décomposable en une série de Fourier, pour tous les termes de laquelle la somme correspondante des E est nulle.

D'autre part si on désigne par E_p la tension aux extrémités des barres, tension qui est la même pour toutes les barres, on a

$$E_n = E_p + R i_n,$$

et en sommant

$$\Sigma E_n = \gamma E_p + R \Sigma i_n = 0.$$

Or Σi_n est nul (lois de Kirchoff), donc $E_p = 0$.

D'où la conclusion suivante :

Dans une armature en cage d'écureuil, si la résistance des segments intermédiaires qui réunissent les barres, est nulle, quels que soient le nombre des barres, le nombre des pôles et la configuration du champ, à tout instant le courant dans une barre est le même que si cette barre était reliée directement en court-circuit à ses deux extrémités, et la différence de potentiel entre les deux anneaux de liaison est nulle.

Nous allons maintenant supposer que l'on tient compte de la résistance des segments de liaison, et nous placer pour plus de simplicité dans le cas d'une armature à un nombre pair de barres tournant dans un champ bipolaire.

Désignons, comme plus haut, par R la résistance d'une barre et par ρ le double de la résistance d'un segment compris entre deux barres.

Il est d'abord évident qu'il y a symétrie par rapport à un plan diamétral quelconque, passant par la barre : le courant principal né

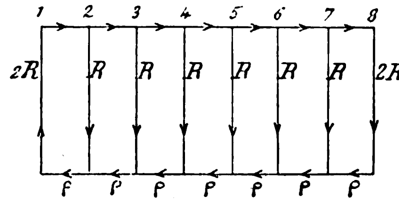


Fig. 6.

dans une barre se partage en deux parties égales dans les deux moitiés déterminées par ce plan.

Dans une de ces moitiés, le courant principal traverse d'abord le segment de liaison, et se perd en partie dans la barre suivante ; le reste traverse le second segment, puis partiellement la troisième barre, etc.

Le calcul direct de la résistante ainsi offerte à ce courant est très compliqué, il vaut mieux procéder en sens inverse, et partir du dernier courant dérivé dans la barre diamétralement opposée, pris arbitrairement pour reconstituer successivement les différents courants et arriver au courant principal, et à la tension aux extrémités de la barre en étude, et alors on n'aura plus qu'à réduire proportionnellement tous les nombres obtenus, d'après le rapport de la tension vraie et de la tension calculée. La figure 7 représente le développement d'une moitié d'un induit bipolaire à 20 barres, pour lequel on a supposé $\rho = 1$ et $R = 100$; le courant dérivé dans la dernière barre, étant, pour une moitié de l'induit 1 ampère.

On remarquera que dans cette étude d'une moitié de l'induit, les deux barres coupées par le plan diamétral de séparation, doivent être considérées, comme divisées en deux parties de résistances doubles, ne portant chacune que la moitié du courant.

La résistance de la moitié de la barre XI, est donc 200 et la tension aux bornes $E_{p_{11}}$ est $1 \times 200 = 200$. Le segment X — XI porte un courant de 1 A, et la chute de tension y est 1 ; d'où aux extrémités de la barre X, une ten-

sion $E_{p_{10}} = 200 + 1 = 201$, et dans la barre un courant de 2,01 A ; etc...

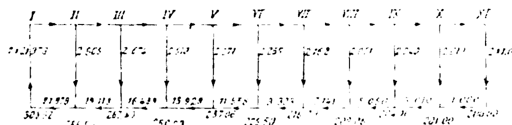


Fig. 7.

Dans la figure 7, les nombres inscrits au milieu des barres, représent les courants dans les barres ; sur les liaisons sont indiqués les courants dans ces liaisons, et enfin au-dessous on a porté les tensions E_p.

On remonte ainsi jusqu'à la première barre ; la force électromotrice qui a donné naissance à ce courant est

$$E_1 = 308{,}52 + 100 \times 43{,}956 = 4704{,}1.$$

En la calculant d'autre part avec l'équation

$$E_1 = \mathfrak{B}_1 v l \sin \alpha,$$

et comparant avec le nombre 4704,1, on aura le facteur de tension par lequel il faudra multiplier tous les nombres de la figure 7.

La décroissance des courants dans les barres est assez rapide à mesure que l'on s'éloigne et va en s'accentuant à mesure que le nombre des barres augmente.

Remarquons aussi que ce schéma est absolument identique à celui d'un montage de lampes en dérivation.

L'auteur donne ici une table calculée pour un induit bipolaire à 90 barres pour $\frac{R}{\rho} = 100$. La colonne I contient les valeurs du courant principal dans la barre 1 et des courants dérivés dans les barres 2 jusqu'à 46, où le courant est pris arbitrairement égal à 2, la colonne II, les tensions E_F aux extrémités des barres, et la colonne III, les courants dans les liaisons.

Dans ce cas la force électromotrice E_1 est

$$E_1 = 8985{,}97 + 100 . 1709{,}15 = 179900.$$

Soit x la valeur réelle de E_1 déduite du champ, le facteur de tension sera

$$\frac{x}{179900}.$$

Tableau A.

	I	II	III
1	1709,14	8985,97	854,57
2	81,31	8138,40	773,25
3	73,58	7351,15	699,67
4	66,58	6658,48	633,09
5	60,25	6025,39	572,83
6	54,53	5452,56	518,31
7	49,34	4934,25	468,97
8	44,65	4465,29	424,31
9	40,41	4040,98	383,90
10	36,57	3657,08	347,33
11	33,10	3309,75	314,23
12	29,96	2995,52	284,28
13	27,11	2711,24	257,17
14	24,54	2454,07	232,63
15	22,21	2221,44	210,41
16	20,11	2011,03	190,30
17	18,21	1820,73	172,09
18	16,49	1648,64	155,61
19	14,93	1493,03	140,68
20	13,52	1352,35	127,15
21	12,25	1225,20	114,90
22	11,10	1110,30	103,80
23	10,07	1006,50	93,73
24	9,128	912,77	84,61
25	8,282	828,16	76,32
26	7,518	751,84	68,81
27	6,830	683,03	61,98
28	6,211	621,06	55,77
29	5,653	565,29	50,11
30	5,152	515,18	44,96
31	4,702	470,22	40,26
32	4,230	429,96	35,96
33	3,940	394	32,02
34	3,620	361,98	28,40
35	3,336	333,58	25,06
36	3,085	308,52	21,98
37	2,865	286,54	19,11
38	2,674	267,43	16,44
39	2,510	250,99	13,93
40	2,371	237,06	11,56
41	2,255	225,50	9,30
42	2,162	215,20	7,14
43	2,091	209,06	5,05
44	2,040	204,01	3,01
45	2,01	201	1
46	2	200	

Soit maintenant à calculer la répartition du courant dans l'armature pour une posi-

tion donnée de cette armature. On calculera d'abord les forces électromotrices E des différentes barres, et leurs quotients par 179 900 donneront les facteurs de tension relatifs à chacune de ces barres ; on prendra garde aussi que le courant dérivé relatif à 1, dans la barre 2, est le même que celui qui passe dans 90, à cause de la symétrie, etc.

On obtiendra donc le courant total dans la barre d'ordre n, en faisant la somme algébrique du courant principal (obtenu au moyen du produit 1709,14 par le facteur de tension propre de la barre n), et des courants dérivés déduits de la table, en tenant compte des différents facteurs de tension des barres ayant donné naissance à ces courants dérivés successifs.

Si l'on ne désire pas avoir dans tous leurs détails ces résultats, mais que l'on se propose seulement de déterminer la répartition du courant qui correspond à une configuration donnée du champ, on peut suivre un autre procédé plus rapide, basé sur la table A.

Soit toujours un induit à 90 barres, avec le rapport $\frac{R}{\rho} = 100$; nous allons chercher le courant total dans la barre n. On calcule d'abord tous les facteurs de tension comme il a été dit plus haut. Ensuite on construit un schéma analogue à celui de la figure 7, donnant le développement d'une moitié de l'induit, et on l'assimile à une échelle pliante, dont les échelons sont constitués par les conducteurs de l'armature. On porte cette échelle sur l'induit, l'échelon 1 recouvrant la barre n; le courant principal est alors donné par le produit du nombre inscrit sur l'échelon 1, par le facteur de tension de la barre n.

On avance ensuite l'échelon 1 sur la barre $n + 1$, et on obtient, d'une façon générale, le courant dérivé dans n correspondant à la barre recouverte par l'échelon 1 (ici $n + 1$), en prenant le produit du nombre inscrit sur l'échelon qui recouvre n (ici l'échelon 2), par le facteur de tension de la barre recouverte par l'échelon 1 (ici $n + 1$).

Quand on aura ainsi recouvert successivement une moitié de l'induit, on retournera l'échelle et on repartira dans le sens opposé.

Le signe à donner aux courants dérivés est évident : c'est le signe —, quand l'échelon 1 est dans la partie du champ où la force électromotrice est positive, et + dans l'autre partie.

De ce mode de construction découlent les remarques suivantes :

Les courants dérivés étant d'autant plus importants qu'ils naissent plus près de la barre étudiée, les courants négatifs seront toujours les plus forts, surtout si la barre est placée près du milieu du champ, au voisinage du maximum du champ ; si le champ est symétrique, et la barre placée dans la ligne neutre, les courants dérivés dus aux deux parties se détruiront réciproquement, et comme d'autre part le courant principal induit est nul aussi, le courant total sera nul. Au contraire si la barre est placée au maximum du champ, les courants dérivés seront très forts, et il y aura grand affaiblissement du courant total dans la barre.

Cet affaiblissement du courant varie dans les différentes barres, et on voit ainsi que le courant total peut suivre dans sa répartition une loi très différente de celle qui régit le champ magnétique.

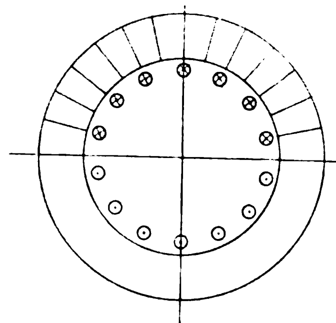


Fig. 8.

Les figures 8, 9 et 10 représentent le cas de l'induit à 90 lames, déjà considéré partout dans cette étude, avec $\frac{R}{\rho} = 100$, placé dans un champ bipolaire, dont la composante radiale soit constante le long de la circonférence, et dirigée pour une moitié dans un sens, et pour l'autre dans le sens contraire.

C'est un cas simple de courbe de champ magnétique : le facteur de tension est cons-

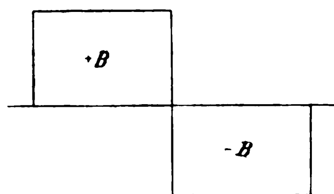


Fig. 9.

tant, et égal à 1, car on supposera E = constante = 179900 pour pouvoir utiliser directement la table A.

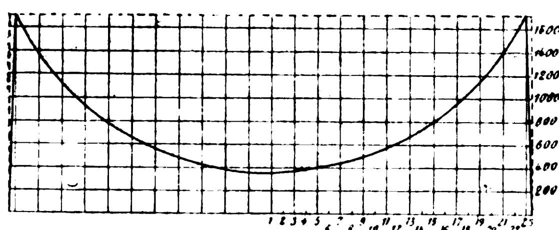


Fig. 10.

Les quatre quadrants se comportent de la même façon, et la table B donne les valeurs du courant pour un de ces quadrants.

TABLEAU B.

N° de la barre.	i	N° de la barre.	i
1	374,83	13	678,63
2	376,71	14	738,66
3	382,35	15	806,07
4	391,81	16	881,54
5	405,19	17	965,82
6	422,63	18	1 059,76
7	444,31	19	1 164,31
8	470,42	20	1 280,48
9	501,24	21	1 409,46
10	537,20	22	1 552,54
11	578,40	23	1 711,14
12	625,38	Ligne neutre	(0,—)

Les ordonnées de la figure 10 montrent la valeur des courants.

Malgré la constance du champ, le courant y décroît rapidement de 1711,14 à la valeur 374,83. La valeur moyenne des intensités est ici 789.

Si on avait $\rho = 0$, cette valeur serait $\frac{179\,900}{100} = 1799$.

La présence des résistances ρ diminue donc le courant dans le rapport 0,439 ; ce facteur par lequel il faut multiplier la valeur du courant déduite de l'hypothèse $\rho = 0$, facteur qu'on peut appeler facteur de réduction du courant, a une énorme importance dans l'étude des moteurs, car il affecte par là même le couple, et par suite le glissement à couple égal.

Le nombre de pôles joue un rôle important ; car à mesure que ce nombre augmente, pour une même valeur de ζ, le nombre des courants dérivés négatifs diminue, et par suite l'affaiblissement des courants se fait de moins en moins sentir.

On arrive à cette conclusion générale que le facteur de réduction est d'autant plus petit que ρ est plus grand, et que pour un ρ constant, il croit en même temps que le rapport du nombre de pôles au nombre de barres.

Dans le cas général, la détermination de ce facteur nécessite tous les calculs de courant étudiés plus haut, et est par suite très compliquée ; elle ne devient simple que si l'on a affaire à un champ magnétique dans lequel les courants totaux soient proportionnels aux intensités du champ aux points que recouvrent ces barres.

Il est facile de démontrer que cette condition est vérifiée pour un champ sinusoïdal multipolaire quelconque.

En effet on peut représenter la loi de variation autour de la circonférence des courants dérivés engendrés par un conducteur, par une série de Fourier : pour avoir le courant total dans une barre on multiplie cette fonction par les facteurs de tension, et on intègre l'expression obtenue tout le long de la circonférence : les facteurs de tension suivant une loi sinusoïdale, l'intégration donne une sinusoïde de même phase que celle de la

différence de tension, et par suite que celle qui représente l'intensité du champ.

On peut arriver à cette conclusion d'une façon plus intéressante, en étudiant d'abord le deuxième cas annoncé plus haut, celui où l'on néglige la résistance des barres : $R = 0$.

Deuxième cas. — Dans ce second cas $R = 0$, alors les forces électromotrices induites dans les barres sont égales aux tensions E_p à leurs extrémités ; si le champ est sinusoïdal, comme le montre la figure 11, ce que nous supposerons essentiellement, on peut prendre comme mesure de E_p l'intensité du champ au point considéré.

Dans les figures 11 et 12, nous représentons les barres par des rayons, et les deux cercles de liaison par deux cercles concentriques. Si le champ est dirigé de haut en bas, les directions de courant sont celles qui sont indiquées par des flèches.

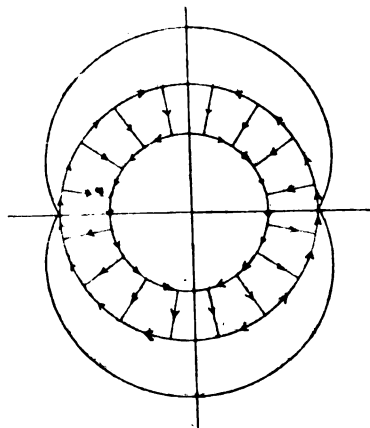


Fig. 11.

Les courants dans les segments se répartissent également dans les deux moitiés séparées par la verticale : si on part de la barre supérieure, à mesure que l'on descend le long de l'induit, les courants dans les segments vont en augmentant, de l'apport que fournit chaque barre, jusqu'à la ligne neutre où ils atteignent leur maximum, égal à la somme des courants des barres d'un quart de la circonférence. A partir de ce point, les barres absorbent chacune une partie de ces courants, qui vont en diminuant jusqu'à la barre inférieure où leur valeur redevient égale à celle de la barre supérieure.

L'énorme valeur du courant qui parcourt les segments voisins de la ligne neutre fait voir nettement l'importance de la résistance ρ, si faible soit elle.

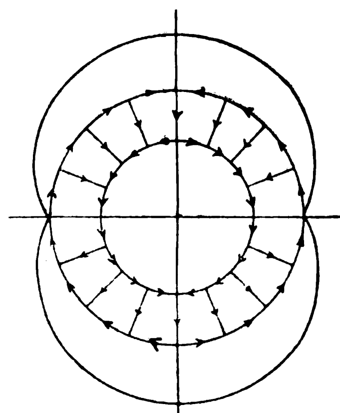


Fig. 12.

Nous allons étudier successivement les courants passant dans les segments et dans les barres d'une armature placée dans un champ sinusoïdal à 2 pôles, toujours avec l'hypothèse $R = 0$, et déterminer leur maximum.

Courant dans les segments. — Soit

$$\mathfrak{B}_\alpha = \mathfrak{B} \sin (p\alpha)$$

le champ. Le courant passant dans un segment est donné par le quotient par ρ, de la différence des tensions E_p aux extrémités des deux barres adjacentes. Ce courant sera maximum aux environs de la ligne neutre, et nous allons démontrer que ce maximum aura lieu pour la position de l'induit telle que la ligne neutre coïncide avec le milieu de l'intervalle de deux barres.

On a en effet

$$E_{p\alpha} = \mathfrak{B} l v \sin (p\alpha) = E_{p\,\max.} \sin (p\alpha).$$

Soit δ l'intervalle de deux barres, et considérons les deux barres x et $\delta - x$ (fig. 13), le

courant dans leur segment commun est

$$J = \frac{E_{p\,max.} \sin px - [- E_{p\,max.} \sin p(\delta - x)]}{\rho}$$
$$= \frac{E_{p\,max.}}{\rho} [\sin px + \sin p(\delta - x)]$$

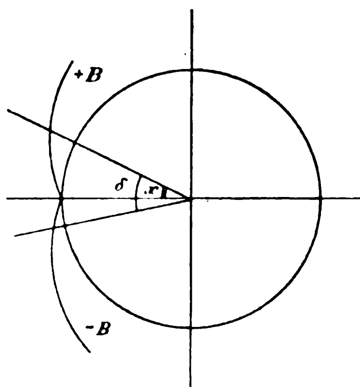


Fig. 13.

Le maximum de cette expression a lieu pour $x = \frac{\delta}{2}$, et sa valeur est

$$J_{max.} = 2 \frac{E_p}{\rho} \sin \frac{p\delta}{2}.$$

Courant dans les barres. — C'est la différence des courants dans les deux segments adjacents. Le courant dans la barre n est donc

$$i_n = J_{n,n+1} - J_{n-1,n} = \frac{E_{pn} - E_{p,n+1}}{\rho} - \frac{E_{p,n-1} - E_{pn}}{\rho}$$
$$= \frac{2E_{pn} - E_{p,n+1} - E_{p,n+1}}{\rho} \qquad (1)$$

d'où finalement

$$i_n = 2(1 - \cos p\delta) \frac{E_{p\,max.}}{\rho} \sin p\gamma,$$

γ étant l'angle que fait le diamètre de la barre n avec la ligne neutre.

La valeur maximum de i_n est

$$i_{max.} = 2(1 - \cos p\delta) \frac{E_{p\,max.}}{\rho}$$
$$= 4 \sin^2 \frac{p\delta}{2} \frac{E_{p\,max.}}{\rho}.$$

Le maximum est donc atteint quand la barre passe au maximum du champ. Les deux portions de maximum du courant dans la barre (fig. 11) et du courant dans le segment (fig. 12), ne coïncident pas, mais sont décalées l'une sur l'autre du demi-intervalle de deux barres.

On remarquera aussi que le courant dans une barre quelconque est en phase avec la force électromotrice qui y est engendrée.

On peut maintenant revenir au cas général et considérer que les barres ont une certaine résistance R, non nulle. Alors la force électromotrice engendrée dans la barre a pour expression

$$E_n = E_{pn} + i_n R,$$

et sa valeur maximum est donnée par

$$E_{max.} = \left[1 + 4 \frac{R}{\rho} \sin^2 \frac{p\delta}{2}\right] E_{p\,max.},$$

d'où on peut conclure qu'une tension E_p sinusoïdale nécessite une force électromotrice engendrée également sinusoïdale; mais l'inverse doit être prouvé séparément et ne découle pas de cette expression.

Pour démontrer cette proposition inverse, à savoir qu'à une force électromotrice sinusoïdale correspondent nécessairement une tension et un courant i sinusoïdaux, il suffit de démontrer que toute autre courbe de la tension E_p qu'une sinusoïde ne peut donner lieu à une force électromotrice sinusoïdale, puisque on a déjà établi qu'une tension E_p sinusoïdale donnait toujours lieu à une force électromotrice sinusoïdale engendrée dans la base.

Une courbe de tension quelconque peut être développée en série de Fourier suivant la forme.

$$E_{p_1} \sin p\alpha + E_{p_3} \sin(3p\alpha + \beta_3) + E_{p_5} \sin(5p\alpha + \beta_5) + \dots$$

On en déduit d'après l'expresssion (1), la valeur de i_n, dans la barre γ après avoir formé séparément

$$i_n = \frac{2}{\rho} [(1 - \cos \delta p) E_{p_1} \sin p\gamma$$
$$+ (1 - \cos 3p\delta) E_{p_3} \sin(3p\gamma + \beta_3)$$
$$+ (1 - \cos 5p\delta) E_{p_5} \sin(5p\gamma + \beta_5) + \dots]$$

d'autre part on avait

$$E_{pn} = E_{p_1} \sin p\gamma + E_{p_3} \sin (3p\gamma + \beta_3) + \cdots$$

En comparant E_{pn} et i_n on voit que les amplitudes des différents harmoniques sont entre eux pour E_{pn} comme

$$E_{p_1} : E_{p_3} : E_{p_5} : \ldots$$

et pour i_n comme

$$(1 - \cos p\delta) E_{p_1} : (1 - \cos 3p\delta) E_{p_3} : \ldots$$

On voit sur ces expressions que i_n et E_{pn} seront nécessairement sinusoïdaux en même temps, les parenthèses $(1 - \cos 3p\delta)$, $(1 - \cos 5p\delta)$..., ne pouvant être toutes nulles en même temps, ce qui démontre notre proposition.

Nous pouvons maintenant étudier l'absorption d'énergie dans l'armature.

Posons

$$2 \sin \frac{p\delta}{2} = S,$$

on a alors

$$J_{max.} = \frac{E_{p\ max.}}{\rho} S$$

$$i_{max.} = \frac{E_{p\ max.}}{\rho} S^2$$

$$\frac{i_{max.}}{J_{max.}} = \frac{i_{eff.}}{J_{eff.}} \frac{i}{J} = S.$$

équation qui donne lieu à cette remarque intéressante : le rapport du courant efficace dans les segments au courant efficace dans les barres est indépendant du rapport $\frac{R}{\rho} = \sigma$ des résistances de ces parties.

Si on affecte de l'indice o les courants correspondants au cas idéal $\rho = 0$, on a

$$\frac{i}{i_0} = \frac{S^2\sigma}{1 + S^2\sigma}.$$

On en déduit l'énergie dans les ζ dépensée barres

$$W_R = \zeta \frac{i^2}{2} R = - \frac{(E_{p\ max.})^2}{2\rho} S^4$$

l'énergie dépensée dans les segments

$$W_\rho = \zeta \frac{(E_{p\ max.})^2}{2\rho} S^2,$$

leur rapport étant

$$\frac{W_R}{W_\rho} = S^2\sigma,$$

l'énergie totale dépensée dans l'induit

$$W = W_R + W_\rho = \zeta \frac{(E_{p\ max.})^2}{2\rho} S^2 (1 + \sigma S^2) \text{ etc.}$$

etc.

Un rapport important que nous appellerons *facteur de réduction* est le rapport de l'énergie totale dépensée dans l'armature W, à l'énergie W_0 qui y serait dépensée si on avait $\rho = 0$, rapport dont la valeur est

$$\lambda = \frac{W}{W_0} = \frac{S^2\sigma}{1 + S\sigma},$$

ce rapport représente en effet

$$1^o \ \frac{i}{i_0}; \qquad 2^o \ \frac{W}{W_0}; \qquad 3^o \ \frac{W_R}{W}.$$

On calculera donc dans une cage d'écureuil i_0 et W_0 par les équations

$$i_0 = \frac{E}{R} \qquad W_0 = \zeta \frac{E^2}{R}$$

et on multipliera ensuite ces valeurs par λ pour avoir la valeur réelle dans la pratique.

Il y a une analogie complète entre un induit à phases, comprenant en plus une résistance en série, et une cage d'écureuil. Soient r et r' les résistances de l'enroulement d'une phase et de la partie additionnelle, on aura

$$\frac{i}{i_0} = \frac{r}{r + r'}$$

mais dans la cage d'écureuil

$$\frac{i}{i_0} = \frac{S^2\sigma}{1 + S^2\sigma} = \frac{S^2R}{\rho + S^2R}.$$

A cause de la petitesse de l'angle δ, on peut remplacer $2 \sin \frac{p\delta}{2}$ par $p\delta$ (l'erreur est $< 1\,^0/_0$, tant que $\frac{\zeta}{p} > 18{,}8$) et on a

$$S^2\sigma = 4\pi^2 p^2 \frac{\frac{R}{\zeta}}{\zeta\rho}.$$

Si on compare les deux facteurs de réduc-

tion $\frac{r}{r+r}$ et $\frac{S^2\sigma}{1+S^2\sigma}$, on voit qu'une cage d'écureuil se comporte comme chaque phase d'un induit à phases, pourvu d'une résistance extérieure, qui aurait pour résistance intérieure $4\pi^2 p^2 \frac{R}{\zeta}$ et résistance extérieure en série $\zeta\rho$, $\frac{R}{2}$ étant la résistance des ζ barres en parallèle, et $\zeta\rho$ la résistante totale des segments de liaison.

Pour terminer, appliquons ces calculs à un exemple.

Soit toujours

$$\zeta = 90; \qquad \sigma = \frac{R}{\rho} = 100 \qquad p = 1.$$

Alors

$\delta = 4^0$. $S = 0{,}0698$ $S^2\sigma = 0{,}4872$ $\lambda = 0{,}328$.

Le courant est donc réduit au 1/3 par la présence d'une résistance ρ qui n'est que 1 % de celle des barres, et l'énergie absorbée par les barres n'est que la moitié de celle qu'absorbent les segments intermédiaires ; le glissement à couple égal est donc multiplié par 3.

Ce résultat tient donc au grand nombre de barres.

Supposons maintenant que la vitesse devenant moitié moindre, le nombre de pôles devienne 4 ; la force électromotrice restera la même.

Alors

$$S = 0{,}1396 \qquad S^2\sigma = 1{,}949$$
$$\lambda = 0{,}661.$$

Les barres absorbent maintenant les 2/3 de l'énergie totale, et le glissement idéal ne devra être multiplié que par $\frac{2}{3}$ à couple égal.

C'est donc le rapport du nombre de barres au nombre de pôles, et non pas seulement le nombre de barres, qui, toutes choses égales d'ailleurs, règle le facteur de réduction.

Une réduction de moitié du nombre de barres, avec $p = 1$ aurait donné le même résultat.

L'influence de la variation de σ est donnée par la table C, qui se rapporte à l'exemple déjà étudié où $\zeta = 90$ et $p = 1$. $S = 0{,}0698$.

Tableau C.

$\sigma = 0$	$\lambda = 0$
$\sigma = 40$	$\lambda = 0{,}163$
$\sigma = 50$	$\lambda = 0{,}196$
$\sigma = 60$	$\lambda = 0{,}226$
$\sigma = 70$	$\lambda = 0{,}254$
$\sigma = 80$	$\lambda = 0{,}281$
$\sigma = 90$	$\lambda = 0{,}305$
$\sigma = 100$	$\lambda = 0{,}328$
$\sigma = 200$	$\lambda = 0{,}492$
$\sigma = 300$	$\lambda = 0{,}593$
$\sigma = 400$	$\lambda = 0{,}660$
$\sigma = 500$	$\lambda = 0{,}709$
$\sigma = 600$	$\lambda = 0{,}745$
$\sigma = \infty$	$\lambda = 1$

Signalons aussi l'influence de la forme du champ. Dans le cas d'un champ à composante radiale constante (cas étudié fig. 8 et 9), on aurait $\gamma = 0{,}439$ au lieu de $0{,}328$; que donne le champ sinusoïdal. A. M.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

(Séance du mercredi 5 juillet 1899.)

M. H. Abraham expose les expériences de M. C. Gutton sur *la propagation des ondes électriques*.

Il commence par rappeler les expériences fondamentales. M. Blondlot était parvenu à mesurer la vitesse de propagation des ondes le long d'un fil métallique, vitesse qu'il reconnut être du même ordre que celle de la lumière. Il importait de savoir s'il en serait de même dans un milieu continu tel que l'air. Les expériences de MM. Sarrasin et de la

Rive tendaient bien à prouver qu'il en est ainsi, mais ce résultat n'était obtenu que d'une façon indirecte qui n'était pas absolument convaincante.

La méthode de M. Gutton permet une démonstration directe.

Avant de l'exposer, il faut reprendre les choses de plus loin.

On sait qu'on peut obtenir la propagation des ondes hertziennes le long de conducteurs par différentes méthodes, notamment :

1° En fixant à chacune des branches de l'excitateur un fil métallique ; l'onde se propage le long des deux fils ; 2° en fixant un fil à une seule des branches de l'excitateur ; 3° au lieu de fixer les fils directement aux branches de l'excitateur on les fixe à des conducteurs parallèles aux branches de l'excitateur, mais sans contact avec elles ; on obtient ainsi dans les fils des phénomènes moins complexes, plus faciles à étudier ; 4° on peut pousser encore plus loin la disposition précédente et, au bout des fils métalliques qui forment une sorte de réseau secondaire, disposer deux conducteurs en face desquels on placera deux autres conducteurs et sur ceux-ci fixer deux fils formant un réseau tertiaire ; 5° enfin, au lieu de fixer sur les branches de l'excitateur ou des conducteurs parallèles, deux fils n'ayant pas de connexion métallique entre eux, on peut disposer un conducteur unique dont une extrémité communique avec une des branches de l'excitateur et l'autre extrémité avec l'autre branche et faire agir ce premier fil sur un système secondaire disposé de même.

Les études de M. Gutton ont porté sur ce qui se passe dans l'intervalle d'air qui sépare un système de conducteurs du système contigu.

Le dispositif expérimental qu'il a adopté est le suivant, qui constitue une méthode de réduction à zéro très sensible.

Deux lignes formées chacune de deux fils parallèles (fig. 1) partent des deux pôles d'un même excitateur A'B'. A l'extrémité de ces lignes, on fait agir les ondes transmises par chacune d'elles sur un même résonateur E ; une des lignes agit sur le côté droit de l'excitateur, l'autre sur le côté gauche. Si les deux ondes arrivent en concordance en *a* et *b* leurs effets se contrarieront et aucune étincelle n'apparaîtra à l'excitateur ; si les ondes diffèrent d'une demi-période, leurs effets, au contraire, s'ajouteront et l'on aura le maximum d'étincelles. En croisant les conducteurs

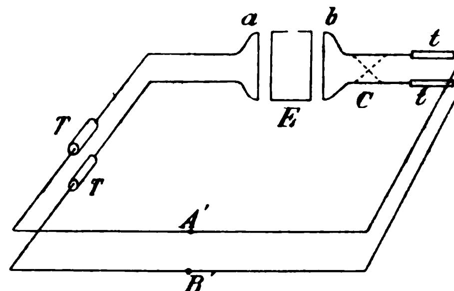


Fig. 1.

d'un côté, comme l'indique le tracé pointillé en C, de façon à renverser le sens dans lequel l'onde parcourt la branche *b*, on peut renverser cet effet, c'est-à-dire que les étincelles s'éteindront en E lorsque les ondes différeront d'une demi-période et qu'elles seront maxima quand les ondes arriveront en concordance en *a* et en *b*.

On peut régler cet appareil avec une précision telle qu'un retard dans l'arrivée des ondes en *a* et en *b* correspondant à une différence de longueur de 2 cm entre le conducteur de droite et celui de gauche fasse réapparaître les étincelles en E.

Afin de pouvoir régler la longueur d'une des lignes, celle de droite, le conducteur qui la compose est formé en partie de glissières *t*, *t*, analogues aux tringles de rideaux, ou à un trombone.

Sur le trajet de l'autre ligne, on intercale en TT le dispositif qu'on veut étudier et qui est formé, comme on sait [1], d'un tube de large diamètre dans lequel pénètre, sans le toucher, le conducteur relié au pôle de l'excitateur.

L'appareil étant réglé pour que les étincelles s'éteignent lorsque le circuit métallique

[1] *L'Éclairage Électrique* du 4 juin 1898, t. XV, p. 418.

est continu, on interpose les tubes T ; l'onde doit maintenant traverser un intervalle d'air. L'onde qui parcourra la seconde partie *a* du circuit n'aura-t-elle pas changé de signe ? Ne sera-t-elle pas en retard ? L'expérience prouve que non, car aucune étincelle n'apparait pas en E ; pourtant si l'on modifie la longueur de l'autre ligne de 4 ou 5 cm, au moyen des coulisses *t*, les étincelles réapparaissent.

Il en est de même, si au lieu de faire passer l'onde du fil sur le tube, on la fait passer du tube sur le fil.

Une autre question qu'on peut se poser, c'est de savoir si la forme de l'onde est modifiée. On sait que l'onde hertzienne a la forme d'une sinusoïde amortie dont l'équation est :

$$y = e^{-at} \sin bt.$$

En employant une méthode électrométrique indiquée par M. Bjerknes, M. Gutton a construit expérimentalement la courbe des déviations de l'électromètre en fonction de la position du pont. Si, d'autre part, on calcule la même courbe en choisissant convenablement la constante d'amortissement *a* et la période *b*, les deux tracés se superposent à peu près identiquement. L'onde transmise à travers l'intervalle d'air, conserve donc la même période et le même amortissement.

En résumé, il n'y a aucune différence entre l'onde transmise par le circuit primaire et celle du circuit secondaire.

Le système composé du fil et du tube T forme un condensateur cylindrique. Si on emploie à sa place un condensateur plan formé de deux plateaux parallèles, les phénomènes sont modifiés ; l'onde transmise est en retard et ce retard augmente avec les dimensions des plateaux, mais reste le même sensiblement quel que soit leur écartement, même si on les rapproche au contact ; l'onde semble donc ne se transmettre de l'un à l'autre que par les bords, fait qu'il était difficile de prévoir.

Si au lieu d'employer des conducteurs interrompus, comme pour des phénomènes d'influence électro-statique, on fait agir l'un sur l'autre des conducteurs formant un circuit fermé, comme dans les expériences électromagnétiques [1], les phénomènes sont modifiés. L'onde secondaire est en retard d'une demi-période ; en outre, l'amortissement et la période restent bien les mêmes, mais la forme de la courbe est plus aplatie, ce qui indique un affaiblissement de l'énergie transmise, résultats que la théorie permettait de prévoir.

M. Abraham explique ensuite les conséquences qu'on peut tirer de ces expériences quant au tracé des lignes de force et à la trajectoire de l'énergie, conséquences qui ont été exposées déjà dans l'*Éclairage Électrique* [2].

Enfin, il passe à la description des expériences sur la comparaison de la vitesse de propagation dans l'air et le long des fils métalliques. Ces expériences sont décrites dans le précédent numéro [3] ; nous nous contenterons donc de dire qu'elles ont prouvé que la vitesse de propagation est la même dans les deux cas. G. P.

Différence de potentiel aux bornes d'une bobine d'induction ;

Par A. Oberbeck [4].

La disposition des expériences est la même que celle des précédentes, à cela près que dans la branche *a* est insérée une résistance de 0,5 ohm et dans la branche *c* une résistance variable de 0 à 5 ohms, pouvant supporter des courants intenses.

Comme dans les deux autres mémoires, l'auteur détermine la différence de potentiel maxima S fournie par la bobine, en fonction

(1) *L'Éclairage Électrique* du 27 août 1898, t. XVI, p. 382.

(2) *L'Éclairage Électrique* du 6 novembre 1897, t. XIII, p. 271 et du 4 juin 1898, t. XV, p. 418.

(3) *L'Éclairage Électrique* du 8 juillet 1899, p. 36.

(4) *Wied. Ann.*, t. LXVII, p. 592-607, mars 1899 (3e mémoire).

Voir pour les deux mémoires antérieurs *L'Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 171 et t. XIX, p. 144.

de la force électromotrice P du courant primaire, séparément pour chaque valeur de la résistance c.

Les résultats sont représentés par les courbes de la figure 1, dont les abscisses

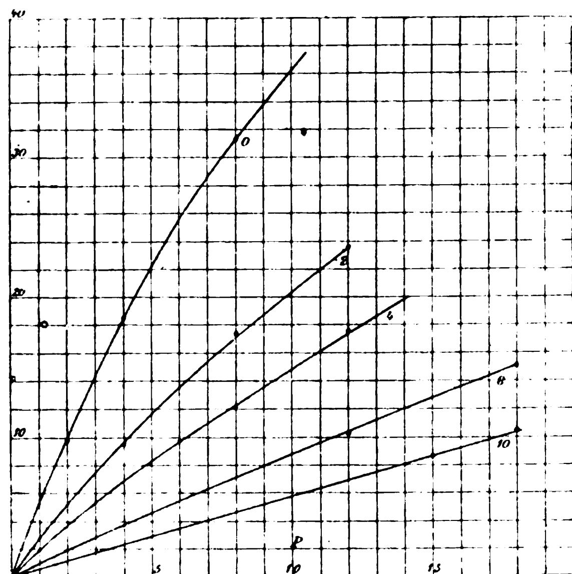


Fig. 1.

représentent les forces électromotrices primaires en volts et les ordonnées des forces électromotrices secondaires, en milliers de volts; les courbes sont prolongées jusqu'à l'origine par extrapolation; les numéros correspondent aux valeurs suivantes de la résistance c : (0) 0; (2) 0,91; (4) 1,51; (8) 3,03; (10) 4,95 ohms. Les courbes se rapportent au cas où les deux pôles sont isolés et l'un d'eux relié à l'appareil de mesure.

Pour étudier les décharges dans l'air libre, on relie les pôles de la bobine aux boules d'un micromètre à étincelles; après avoir réglé la distance de ces boules et la résistance c, on fait varier la force électromotrice du courant primaire, jusqu'à ce que les étincelles éclatent régulièrement. Quand on fait varier la résistance c, les étincelles doivent commencer à se produire pour une autre valeur de la force électromotrice primaire, tandis que la différence de potentiel secondaire devrait avoir la même valeur; c'est ce qui se vérifie à peu près.

Si on compare les différences de potentiel explosives à celles que donne Kohlrausch, on trouve que, pour les petites distances explosives, elles sont plus petites pour les charges lentes que pour les charges obtenues avec la bobine; c'est le contraire pour les grandes distances explosives. Il faut remarquer encore que dans les expériences avec charge lente l'une des boules du micromètre est reliée au sol, l'autre chargée tandis que dans le cas actuel, les deux boules sont chargées simultanément à des potentiels de signe contraire.

Lorsque les pôles du micromètre ne sont plus identiques, mais que l'un est terminé par une pointe, l'autre par une plaque de 10 cm de rayon, il n'est pas indifférent que la pointe soit positive ou négative (fig. 2). Les

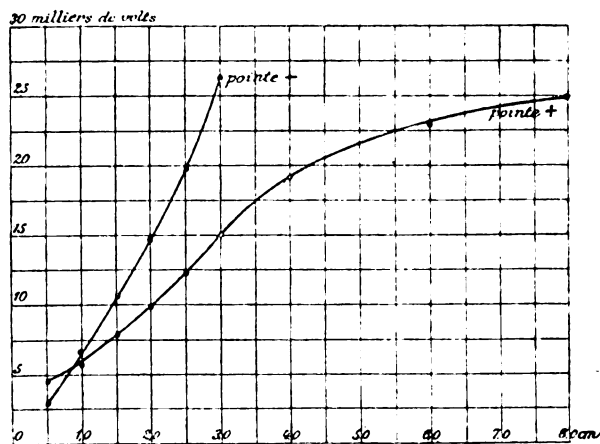


Fig. 2.

courbes obtenues en prenant la pointe positive, puis la pointe négative se coupent dans la région qui correspond aux faibles distances explosives; pour ces distances, la différence de potentiel explosive est plus petite quand la pointe est négative : c'est l'inverse pour les grandes distances explosives. Ces résultats sont à rapprocher de ceux de Hagenbach [1] et de Wehnelt [2].

Quand la distance entre les électrodes est grande, on trouve pour la différence de potentiel qui correspond à l'apparition de la

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 527.
[2] *Ibid.*, t. XVII, p. 117.

décharge deux valeurs différentes suivant que la décharge se fait sous forme d'aigrette ou sous forme d'étincelle. La différence entre ces deux valeurs limites diminue avec la distance des électrodes et quand cette distance est assez petite, on ne peut plus la distinguer.

Au lieu de diminuer la distance, on peut diminuer la pression du gaz ambiant, en laissant constante la distance des électrodes. D'abord tant que la pression n'est que médiocrement réduite, la décharge ne subit pas de changement essentiel ; on continue à distinguer les deux limites répondant aux deux espèces de décharges. Quand la raréfaction est poussée davantage, on observe d'abord un changement dans l'aspect de l'étincelle. Sous la pression de 500 mm de mercure dans l'air, l'étincelle forme un ruban étroit très brillant, rougeâtre en un point ; sous une pression plus basse, l'étincelle jusque-là bien délimitée devient plus large et prend une teinte rougeâtre.

En réduisant encore plus la pression, on obtient, avant que la différence de potentiel nécessaire à l'étincelle soit atteinte une décharge par aigrette ; l'aigrette, de couleur rougeâtre, se termine à quelque distance de la cathode, dont elle est séparée par la région obscure, mais en forçant la différence de potentiel, on peut faire traverser cette région obscure par l'aigrette, de sorte que le filet lumineux touche la cathode ; on peut dire qu'on a encore une décharge par étincelle ou disruptive.

Dans l'air (fig. 3), la différence de potentiel explosive reste à peu près constante jusqu'à ce que la pression soit descendue à 300 mm, puis elle diminue et passe par un minimum pour une pression d'environ 200 mm. La décharge est alors très tranquille et présente la forme d'un trait large de couleur rougeâtre. Ensuite la différence de potentiel limite remonte rapidement. Une grande différence est nécessaire pour faire traverser à la décharge la région cathodique obscure et lui faire atteindre la cathode ; elle ne l'atteint même plus quand la pression est descendue au-dessous de 100 mm ; la lumière positive ne se dirige plus droit vers la cathode, mais est déviée vers le haut.

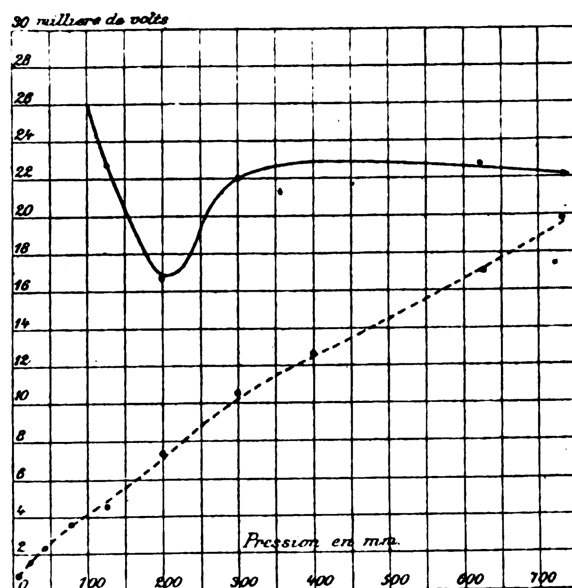


Fig. 3.

Ces observations sont d'accord avec la manière de voir de Wehnelt (*loc. cit.*) d'après laquelle la région cathodique obscure qui se développe à mesure que la pression baisse agit comme un diélectrique qui opposerait une grande résistance à la décharge.

Dans le gaz carbonique, les phénomènes sont à peu près les mêmes que dans l'air, sauf cependant que le potentiel de décharge baisse tout de suite en même temps que la pression (fig. 4).

Avec l'hydrogène, au contraire, la différence de potentiel limite, grande déjà sous la pression ordinaire croît quand on diminue la pression : aux pressions inférieures à 500 mm, on n'obtient plus la décharge disruptive.

La différence de potentiel limite correspondant à la décharge par aigrette est un peu inférieure, sous la pression ordinaire, à celle de la décharge disruptive ; elle décroît à peu près proportionnellement à la pression, jusqu'à une valeur très petite ; puis elle passe par un minimum et croît ensuite fortement.

Dans le gaz carbonique, jusqu'à 400 mm, on ne peut séparer les deux espèces de décharge ; un flux d'étincelles jaillit dès que la

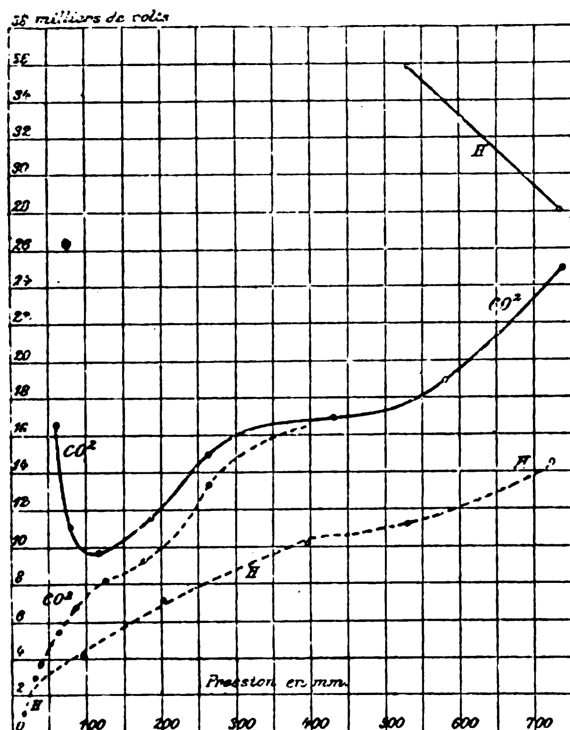


Fig. 4.

différence de potentiel limite est atteinte. Puis la différence de potentiel de l'aigrette est inférieure à celle de l'étincelle, décroît moins régulièrement toutefois que dans l'air; la diminution est prononcée surtout à partir de la pression de 80 mm.

Dans l'hydrogène, la différence de potentiel de l'aigrette (la plus petite en valeur absolue (fig. 4), est encore à peu près proportionnelle à la pression.

Malgré ces différences apparentes, on retrouve dans les phénomènes relatifs à ces trois gaz des points communs. Pour chacun d'eux et pour une distance explosive déterminée. il existe une pression au-dessus de laquelle se produit seulement la décharge disruptive.

Au-dessous, on observe séparément l'aigrette et l'étincelle, la première répondant toujours à une différence de potentiel plus petite; ces différences de potentiel décroissent toutes deux avec la pression, jusqu'à un minimum, pour croître ensuite rapidement ; les pressions correspondant à ce minimum sont, pour un même gaz, différentes pour les deux espèces de décharge ; elles diffèrent beaucoup d'un gaz à l'autre.

Ces trois valeurs particulières de la pression sont accessibles à l'expérience dans le cas du gaz carbonique; pour l'air, la première pression limite paraît être un peu supérieure à une atmosphère; pour l'hydrogène, elle paraît être très élevée. M. L.

CHRONIQUE

Sur la nature et la cause du phénomène des cohéreurs. — L'ensemble des recherches faites par M. Thomas TOMMASINA sur les cohéreurs et dont quelques résultats ont été signalés dans ce journal (t. XIX, p. 278, 20 mai 1899, et t. XX, p. 35, 8 juillet 1899), conduit aux conclusions suivantes :

1° L'augmentation de la conductibilité électrique des limailles est la conséquence de la formation de chaines rendues conductrices par des adhérences entre grain et grain;

2° La formation des chaines dépend de l'orientation de ces corpuscules conducteurs suivant les lignes de force du champ électrique constitué par la différence de potentiel entre les électrodes ;

3° Les adhérences conductrices sont la conséquence de l'échauffement des très petits contacts produit par l'éclatement d'une série d'étincelles.

Les quelques faits suivants décrits par M. T. TOMMASINA à la séance de l'Académie des sciences du 3 juillet (*Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 40), viennent confirmer ces conclusions :

« *Formation instantanée de chaînes verticales sans aucun contact préalable entre les électrodes et la limaille.* — Ces chainettes, que j'appellerai d'*auto-*

formation, se produisent moins facilement dans l'air que dans les liquides diélectriques. Dans l'air, il faut empêcher les fortes décharges disruptives, car dans ces recherches j'opérais avec le courant induit d'une bobine de Ruhmkorff de grande dimension, pouvant donner des étincelles de 35 cm de long. Il suffit pour cela d'intercaler une large planchette de bois horizontale d'une épaisseur suffisante entre les électrodes, et placer la limaille sur la planchette, les électrodes étant maintenues à une certaine distance. En faisant les interruptions à la main, on voit à chaque décharge la chaine se former immédiatement et rejoindre l'électrode qui se trouve du même côté.

» Dans l'eau distillée, j'ai pu voir se produire des chainettes d'*auto-formation* de plus de 0,20 m de long, en laissant agir l'interrupteur de la bobine. Dans ce cas, la formation n'est pas instantanée, mais la chaine emploie moins d'une seconde pour arriver à adhérer à l'électrode supérieure. Si l'on diminue le courant en laissant les électrodes à la même distance, on voit se former et monter verticalement une quantité de chainettes qui semblent concourir, en s'efforçant par des élans rapides, à rejoindre le but. En augmentant graduellement l'intensité du courant, l'une des chaines peut atteindre l'électrode et y adhérer. L'effet immédiat est de faire tomber en fragments toutes les autres chainettes et de faire cesser tout mouvement dans la limaille. La chaine conductrice reste formée et ne se détruit pas, même par des secousses très violentes; mais si l'on interrompt le courant, le plus léger choc suffit.

» Ayant mis un peu de limaille au fond d'un tube de verre, en forme de V, rempli d'eau distillée, et ayant disposé les électrodes à une distance de 0,15 m, dans les deux branches du tube, j'ai pu observer le même phénomène, mais en double, c'est-à-dire qu'il se produisit, en partant de la limaille, dans chaque branche. Les électrodes étant sorties de l'eau et des étincelles éclatant sur le liquide, les chainettes se forment comme auparavant et chacune se prolonge jusqu'à peu de distance des points frappés par les décharges.

» Dans l'obscurité, on voit des séries de petites étincelles alignées qui forment de vraies chaines lumineuses, dont la longueur dépend de l'intensité du courant. Au sommet de toutes ces chainettes en formation, on voit une sorte d'effluve qui produit un vif mouvement dans la limaille; mais lorsque la chaine conductrice réunissant les électrodes est bien établie, tout mouvement et toute étincelle cessent.

» *Fantômes ou spectres des lignes de force électriques par les chaines de limaille dans l'eau distillée.* — La production de chaines entre deux décharges disruptives m'ayant fait entrevoir la possibilité de rendre visibles les lignes de force d'un champ électrique au moyen des limailles, j'y suis parvenu de la façon suivante. Dans un récipient très large et à fond plat, j'ai étalé de la limaille d'argent, recouverte d'une couche d'eau distillée de 3 mm à 4 mm d'épaisseur seulement. Deux fils d'aluminium, renfermés dans deux tubes de verre, étaient placés obliquement et s'écartaient à leur partie supérieure, pour empêcher les décharges; les autres extrémités, sortant à peine de quelques millimètres des tubes, étaient recourbées de façon à être verticales dans l'eau et touchaient le fond du vase. Sous l'action d'un courant moins intense que dans les expériences précédentes, j'ai vu tout de suite rayonner des deux pointes d'aluminium, constituant les électrodes, une quantité de chainettes qui s'alignaient selon des courbes parfaitement identiques à celles des limailles de fer des fantômes magnétiques. Mais dès que la chaine conductrice entre les électrodes était formée, il semblait en résulter l'arrêt de la formation des autres; pour obtenir le spectre complet, j'ai dû rompre continuellement avec une baguette en verre la chaine conductrice, car elle se reformait chaque fois immédiatement. En aspirant l'eau avec une pipette et en faisant évaporer le reste, j'ai pu conserver le spectre électrique ainsi obtenu.

» Si, pendant cette expérience, on fait l'obscurité, et si, après avoir augmenté le courant, on donne au récipient un mouvement oscillatoire, on observe un certain nombre de lignes de force qui se dessinent par des chaines lumineuses.

» Ces expériences font voir sous une forme agrandie ce qui doit se passer dans le champ très limité du cohéreur. »

Étincelle globulaire ambulante. — En rendant compte du dernier Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences, qui a eu lieu à Nantes en août 1898, nous signalions (*Écl. Élect.*, t. XVI, p. 312, 20 août 1898) les études expérimentales faites par le Dr Stéphane Leduc sur les étincelles électriques. En continuant ces études M. Leduc a obtenu des résultats intéressants qui viennent apporter quelque lumière sur la question encore si

obscure de la foudre globulaire. Voici ce qu'il dit à ce sujet dans une note présentée à la séance de l'Académie des sciences du 3 juillet (*Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 37).

« Lorsque deux pointes métalliques très fines et bien polies, en rapport chacune avec l'un des pôles d'une machine électrostatique, reposent perpendiculairement sur la face sensible d'une plaque photographique au gélatinobromure d'argent placée sur une feuille métallique, les deux pointes étant à 5 cm ou 10 cm l'une de l'autre, il se produit une effluve autour de la pointe positive, tandis qu'à la pointe négative il se forme un globule lumineux; lorsque ce globule a atteint une grosseur suffisante, on le voit se détacher de la pointe, « qui cesse complètement d'être lumineuse », se mettre en route, se déplacer lentement sur la plaque, faire des détours, s'arrêter, puis repartir vers la pointe positive; lorsqu'il arrive à celle-ci, l'effluve s'éteint, tout phénomène lumineux cesse, et la machine se désamorce comme si ses deux pôles étaient unis par un conducteur.

» La vitesse avec laquelle le globule lumineux se déplace est très faible; il met de une à quatre minutes pour parcourir la distance de 5 cm à 10 cm. Parfois, avant d'atteindre la pointe positive, le globule éclate en deux ou plusieurs globules lumineux, qui continuent individuellement leur route vers la pointe positive.

» En développant la plaque, on y trouve tracée la route suivie par le globule, le lieu d'éclatement, les routes des globules résultant de la division, l'effluve autour de la pointe positive; enfin, si l'on arrête l'expérience avant l'arrivée du globule à la pointe positive, la photographie ne donne la route que jusqu'au point d'arrêt.

» Le globule semble rendre son trajet conducteur. Si, pendant le voyage du globule, on projette une poudre sur la plaque, du soufre par exemple, le trajet suivi par le globule est marqué par une ligne de petites aigrettes, présentant l'aspect d'un chapelet lumineux.

» L'expérience réussit sur une plaque voilée par la lumière, laquelle ne communique pas à la couche sensible la conductibilité que le globule lumineux produit sur son trajet

» Les étincelles globulaires décrites par G. Planté (*Comptes rendus*, 19 août 1878) et A. Righi (*Ecl. Elect.* t. VI, p. 362, 457, 495, 590; 1896) sont, par leur mode de production et par leurs caractères, très différentes de celles qui sont étudiées dans cette Note.

» De tous les phénomènes électriques connus, celui-ci semble présenter le plus d'analogie avec la foudre globulaire. »

Préparation du fluor par électrolyse dans un appareil en cuivre. — L'emploi du platine pour la confection des électrodes et du récipient rendait jusqu'ici la préparation du fluor assez coûteuse, les électrodes et le récipient étant attaqués pendant l'opération.

M. Moissan vient de remédier, en partie du moins, à cet inconvénient en prenant un récipient en cuivre (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1544, 26 juin 1899). Sa forme est à peu près la même que celle des électrolyseurs en platine; son volume est plus grand (300 cm³) et permet d'électrolyser facilement 200 cm³ d'acide fluorhydrique rendu conducteur par 60 gr. de fluorhydrate de fluorure de potassium. La fermeture de l'appareil est la même; l'isolement se fait encore au moyen de bouchons de fluorure. Les électrodes sont toujours en platine, mais pour avoir une plus grande surface elles ont la forme de cylindres creux ouverts suivant une de leurs génératrices.

Lorsque le mélange d'acide fluorhydrique et de fluorure de potassium est bien privé d'eau, l'électrolyse se produit très bien dans cet appareil et le vase n'est pas attaqué. Il est vraisemblable que le fluor, qui se trouve bientôt en solution dans l'acide fluorhydrique, produit à la surface du cuivre une petite couche de fluorure de cuivre isolant, insoluble dans l'acide fluorhydrique, car on observe la formation de cette couche sur l'anode lorsqu'on se sert d'électrodes en cuivre (c'est même pour cette raison que l'on n'a pu employer le cuivre pour la confection des électrodes, la mauvaise conductibilité de la couche empêchant le courant de passer).

Le rendement de ce nouvel appareil a été établi en mesurant le volume d'hydrogène dégagé à la cathode dans un temps déterminé. Dans une série d'expériences préliminaires, M. Moissan s'est assuré que le volume d'oxygène produit par l'action du fluor sur l'eau répondait bien au volume d'hydrogène mis en liberté à l'anode, si l'on tenait compte toutefois de la proportion d'ozone formé.

Avec un courant de 50 volts et de 15 ampères, M. Moissan a obtenu un rendement par heure de 5 litres environ, lorsque l'expérience dure six à dix minutes. En employant un courant de 20 ampères sous le même voltage, le rendement peut s'élever jus-

qu'à 8 litres, mais dans le second cas l'expérience ne saurait durer longtemps, car le liquide s'échauffe trop et, malgré un refroidissement énergique de —50°, le gaz fluor entraine des vapeurs abondantes d'acide fluorhydrique.

Il est important aussi de ne pas trop abaisser la température, sans quoi la combinaison d'acide fluorhydrique et de fluorure alcalin se prend en masse.

Ce nouvel appareil en cuivre a donné de très bons résultats dans des expériences qui ont duré plusieurs heures; il a permis d'aborder l'étude de quelques questions nouvelles dans lesquelles M. Moissan avait besoin d'un courant continu de fluor.

Effet des ondes électriques sur les contacts métalliques humides. — M. Aschkinass (*Wied. Ann.*, LXVII, p. 842-846) réclame sur M. Neugschwender (*Écl. Élect.*, t. XIX, p. 200) la priorité au sujet des expériences publiées récemment par ce dernier sur l'effet exercé par les ondes électriques sur les contacts métalliques mouillés.

Dans ses expériences sur les radioconducteurs, M. Aschkinass a observé aussi à différentes reprises une augmentation de résistance. Les extrémités des deux arcs de cuivre qui formaient le contact plongeaient dans l'alcool méthylique; les phénomènes étaient alors les mêmes que si les extrémités se trouvaient à l'air libre. Mais si on remplace l'alcool par de l'eau, on obtient de prime abord le passage du courant et ce courant s'interrompt quand on produit dans le voisinage des ondes électriques. La distance des pointes était la même que dans l'air et l'alcool : mais dans l'eau on peut augmenter un peu cette distance sans faire disparaitre le phénomène.

Si on enlève la capsule dans laquelle plongent les fils rien n'est changé tant que les extrémités sont réunies par une goutte de liquide : M. Neugschwender dit au contraire que le contact est sensible seulement quand le liquide est assez évaporé pour n'être plus visible à l'œil nu.

L'expérience réussit également avec un radioconducteur de forme ordinaire, c'est-à-dire avec un tube de verre rempli de limaille de cuivre, mouillée avec un peu d'eau. La résistance du tube dans son état normal est petite : elle augmente sous l'action des décharges et reprend sa valeur quand elles ont cessé. En secouant fortement le tube, même mouillé, on peut amener la résistance à une valeur initiale très grande; mais cet état est instable.

Le retour à la résistance primitive se fait instantanément quand l'action des ondes a été de courte durée, mais elle n'est que progressive si l'action a été prolongée et d'autant plus lente que cette action a été plus longue.

Quand l'expérience a été plusieurs fois répétée, il faut des excitations de plus en plus énergiques pour provoquer l'augmentation de résistance et finalement le contact devient insensible : il faut secouer fortement l'appareil pour ramener la sensibilité.

Avec de la limaille très peu mouillée, on observe des phénomènes extrêmement irréguliers.

L'intensité du courant qui traverse le radioconducteur a une influence remarquable : l'augmentation de résistance se produit plus sûrement quand cette intensité est relativement grande. Il est à remarquer encore que le galvanomètre conserve une déviation notable même quand on a retiré du circuit l'accumulateur qui fournit ce courant : il est donc possible que la polarisation électrolytique joue un grand rôle dans ces phénomènes. M. L.

Nouvel indicateur d'ondes électriques. — M. Neugschwender (*Wied. Ann.*, t. LXVIII, p. 92-98), complète les indications qu'il a données précédemment (*Écl. Élect.*, t. XIX, p. 200), sur l'action qu'exercent les ondes électriques sur une fente couverte de buée.

La résistance de la fente qui est primitivement de 50 ohms en moyenne et de 40 ohms quand on a fait agir un courant de gaz ammoniac, s'élève à 80-90 000 ohms dès qu'on excite les ondes électriques.

Si la couche de buée est assez faible pour que le courant soit complètement interrompu sous l'action des ondes électriques, on ramène la résistance à sa valeur primitive en soufflant sur la fente. L'effet ne dépend ni de la position de la fente ni de celle des fils par rapport aux ondes : il est le même que le courant traverse ou non la fente quand arrivent les ondes; mais il est d'autant plus accusé que la surface des fils qui est exposée au rayonnement est plus grande.

La résistance de la fente ne varie pas par l'évaporation spontanée : si on fait le vide, il ne se produit d'abord aucun changement : mais quand la pression est descendue à 10 cm de mercure, l'aiguille du galvanomètre (dans le réseau de Wheatstone) commence à osciller, puis revient rapidement au zéro; si on laisse rentrer l'air humide extérieur, la fente

redevient conductrice. On obtient un résultat analogue en élevant la température. Quand on chauffe davantage, l'élongation de l'aiguille atteint un maximum : si on excite les ondes, l'aiguille revient brusquement au zéro, puis dévie de nouveau quand on interrompt les ondes; la conductibilité ainsi reproduite subsiste pendant le refroidissement. Dans ces expériences, c'était un sel métallique fondu qui jouait le rôle de la buée. Effectivement, on peut les répéter sur une fente fermée par deux surfaces de verre platiné, sur lesquelles on a déposé, puis fait évaporer quelques gouttes d'une dissolution d'azotate d'argent.

Tous les électrolytes ne se comportent pas de la même façon : l'accroissement se produit seulement avec ceux qui, par électrolyse fournissent du métal libre; tels sont les dissolutions des sels de platine, d'or, d'argent, de cuivre, d'étain. La solution aqueuse de chlorure mercurique fait exception. Les sels des métaux alcalins ne donnent rien.

En observant la fente au microscope, on remarque que par suite de l'électrolyse, il se sépare des filaments métalliques, formant des houppes qui flottent à la surface du liquide : ces houppes réunissent les bords de la fente et produisent la conductibilité. La destruction de ces houppes est accompagnée de phénomènes lumineux : toute la région voisine de leurs extrémités s'illumine en jaune verdâtre; il en est de même du bord de la fente qui forme anode; souvent aussi, la membrane liquide qui réunit les bords devient lumineuse, puis se déchire.

Lorsqu'on fait agir les ondes d'une manière permanente et qu'on a soin d'entretenir au voisinage de la fente une humidité et une teneur ammoniacale suffisantes, l'anode se dissout de plus en plus et les houppes augmentent et atteignent une longueur notable.

Quand la couche de buée est très mince, les phénomènes lumineux affectent plus souvent la forme d'étincelles, mais la conductibilité de la fente peut varier beaucoup sans que ces étincelles paraissent. Les phénomènes qui se passent dans ces couches minces ne sont pas essentiellement différents des précédents. C'est seulement quand l'épaisseur devient très grande, 1 mm par exemple que l'action des ondes électriques devient très petite; il n'y a plus de phénomènes lumineux, mais on observe par contre des mouvements assez vifs des particules métalliques.

Quand on opère avec les sels fondus, on ne peut faire l'observation au microscope qu'après le refroidissement : on ne constate aucune modification.

De ces diverses observations, il faut conclure que la variation de la résistance est due à la rupture provoquée par les ondes électriques des filaments métalliques qui s'étaient formés par électrolyse et mettaient en communication les deux bords de la fente.

M. L.

Bacs Rovello pour le traitement électrolytique des solutions cuprifères ou aurifères. — Pour récupérer le cuivre des solutions de sulfate ou de chlorure de cuivre, on a généralement recours à la précipitation chimique au moyen de fer ; pour retirer l'or des solutions provenant de la chloruration ou de la cyanuration des minerais aurifères, on effectue le plus souvent la précipitation au moyen de feuilles de zinc. Dans ces conditions le métal se précipite sous forme de boue dont le traitement ultérieur ne s'effectue pas sans perte. On peut éviter cet inconvénient en effectuant la déposition par l'électrolyse, mais il y a alors à tenir compte de la dépense d'énergie nécessaire à la production du courant, dépense qui peut être plus grande que celle résultant de l'achat du métal précipitant, fer ou zinc, suivant le cas.

M. A. Rovello a pensé qu'il serait pratiquement possible d'emprunter l'énergie nécessaire à la production du courant, à l'énergie chimique résultant du déplacement du cuivre ou de l'or par le fer ou le cuivre. Dans ce but il forme une pile dont l'électrode négative est constituée par le métal précipitant qui plonge dans une solution acide et dont l'autre électrode est constituée par un métal quelconque assujetti à la seule condition de n'être pas chimiquement attaqué par la solution métallique qu'il faut décomposer et dans laquelle plonge cette électrode ; en d'autres termes il réalise un dispositif analogue à celui dont on s'est servi, sous le nom d'appareil simple, pour la galvanoplastie et qui consiste, comme on sait, en un bac contenant une solution de sulfate de cuivre dans laquelle se trouvent, d'une part, un vase poreux contenant de l'eau acidulée et une lame de zinc, et, d'autre part, une lame de cuivre reliée extérieurement à la lame de zinc : le cuivre du sulfate est précipité électrolytiquement tandis que le zinc est dissous.

Mais pour que le procédé fut véritablement pratique, il fallait qu'il fût continu et n'exigeât point de vase poreux. M. A. Rovello est parvenu à satis-

faire à ces deux conditions au moyen de l'appareil suivant que décrit l'*Industrie électrochimique* dans son dernier numéro, d'après *Rassegna Mineraria* (t. X, n° 12, 21 avril 1899) :

Dans une grande cuve en maçonnerie sont suspendues, par des barres de bois horizontales s'appuyant sur les bords, des lames verticales d'un métal inattaquable par les solutions à traiter ; sur les barres de bois horizontales sont placés les lingots du métal précipitant. Un tuyau débouchant au fond de la cuve amène la solution à traiter ; la solution épuisée s'écoule par un large déversoir.

Pour mettre en train l'opération on commence par remplir à demi la cuve d'eau additionnée d'un acide (le même que celui qui entre dans la composition du sel à électrolyser). Ensuite on fait arriver lentement par le tuyau d'amenée la solution à traiter, laquelle étant plus dense que l'eau acidulée reste au fond tandis que l'eau acidulée surnage. Quand celle-ci atteint le métal précipitant un courant électrique s'établit à travers la solution, de ce métal aux électrodes non attaquables ; la solution est décomposée ; son métal se dépose sur ces électrodes tandis que son acide se porte sur le métal attaquable et donne une solution saline qui s'écoule par le déversoir. En réglant convenablement l'arrivée de la solution à traiter on peut s'arranger de manière à ce qu'elle ne vienne pas en contact avec le métal précipitant. D'ailleurs si, par suite d'un trop grand afflux, il y a contact et par conséquent précipitation à l'état pulvérulent du métal à recueillir, la poudre tombe au fond du bac mais ne gêne en rien l'opération si l'on prend des cathodes assez courtes pour qu'il reste un certain espace entre leurs extrémités inférieures et le fond du bac.

Pour le traitement des solutions cuprifères les cathodes sont en cuivre ; le métal précipitant est du fer en lingots ; on peut ainsi déposer 15 grammes de cuivre par mètre carré de cathode et par heure. Pour le traitement des solutions aurifères les cathodes sont en plomb ; le métal précipitant est du zinc ; les cathodes en plomb sont ensuite fondues et soumises à la coupellation.

Électrolyseurs Kellner pour le blanchiment. — La maison F. Gebauer, qui utilise dans son usine de blanchiment de Charlottenburg des électrolyseurs Kellner, a fait subir quelques modifications aux opérations électrolytiques. Voici ces modifications, d'après le dernier numéro de *L'Industrie électrochimique :*

Les électrolyseurs Kellner sont à électrodes bipolaires. Ces dernières sont formées de plaques de verre entourées de fil de platine iridium. Les deux électrodes terminales de chaque appareil sont des treillis en fil de platine-iridium. La solution saline passe de l'électrolyseur dans un serpentin refroidisseur qui se trouve au-dessous, puis est ramenée dans l'électrolyseur par une pompe centrifuge en plomb durci. La circulation de l'électrolyte doit durer jusqu'au moment où ce dernier a atteint le titre voulu de chlore actif. La circulation de l'électrolyte dans le réfrigérant a pour but d'en maintenir la température entre 20 et 25°, de façon à empêcher la formation de chlorate de soude et de prévenir ainsi les pertes d'énergie. Le degré de concentration de la solution saline et la durée de travail de la solution sont réglés sur le prix du sel et de l'énergie.

D'après le Dr Otto Prelinger, les électrolyseurs Kellner employés en combinaison avec le dispositif de circulation F. Gebauer donnent d'excellents résultats.

Après trois heures d'électrolyse à 114 ampères sous 112 volts (19 chevaux), une solution de 650 litres à 10° B. renfermant 110 kgr de sel par mètre cube, contient 0,85 p. 100 de chlore actif, ce qui représente 5,5 kgr de chlore pour les 650 litres d'électrolyte.

En estimant le cheval-an (360 jours) à 100 fr et le prix du sel dénaturé à 5 fr les 100 kgr, nous aurions donc en France les prix suivants :

650 litres à 71,5 kgr de sel. . . .	3,575 fr
19 chevaux pendant trois heures.	0,657 »
	4,232 fr.

Soit 4,232 fr. les 5,5 kgr. Le kilogramme de chlore reviendrait donc à 0,77 fr non compris l'amortissement du matériel, etc.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XX. Samedi 22 Juillet 1899 6e Année. — N° 29.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ (¹)

Nous avons décrit dans nos précédents articles plusieurs applications de l'électricité aux *appareils de pesage* (¹) : dans la bascule automatique de Richards que nous décrivons aujourd'hui, l'électricité accomplit presque toutes les fonctions du mécanisme automatique avec une simplicité bien supérieure à celle que l'on pourrait atteindre en la remplaçant par des organes de transmission purement mécaniques.

La principale caractéristique de cette balance est l'emploi d'un tambour tournant C (fig. 1 et 2), pivoté en 10, à l'extrémité du balancier B, à poids W, et divisé en trois compartiments C, C′, C″, constitués chacun par deux parois fixes et deux parois mobiles 20 et 21. Chacun de ces compartiments a identiquement son électro *e*, *e′*, *e′*, commandant sa paroi 20, et ses contacts *s*, *s′*, *s″*.... la reliant aux circuits de l'ensemble. C'est ce qui donne aux figures de cet ensemble un aspect compliqué : mais il suffira de décrire le jeu d'un seul de ces compartiments pour comprendre celui des deux autres et de tout l'appareil.

Quand les pièces occupent les positions figure 2, le compartiment C (fig. 5) est en chargement ; le grain y tombe librement de la trémie H ; le tambour G est maintenu immobile par le crochet *h*, en prise, au bas de l'appareil, avec le toc *g*, et le circuit de la pile *b* est fermé aux contacts 53, 57 et *s*. Quant le compartiment C est à peu près rempli, G descend en soulevant B, ce qui, rompant le contact 53, coupe du circuit le solénoïde *s*, dont le levier, descendant par son contre-poids fait, comme de figure 2 à figure 3, fermer la vanne principale 72 (fig. 6) de manière à ne plus laisser s'écouler en C qu'un petit filet de grain, pour en achever le remplissage. A la fin de ce remplissage, le contact 64, à l'extrémité gauche du balancier B, ferme, par 65, 83, *s*, le circuit du solénoïde *e*, lequel, atti-

(¹) Balances de Burby. *L'Éclairage Électrique*, 4 décembre 1894, p. 591, Dobe et Waston, 28 novembre 1896, p. 397 ; Richards, 15 mai 1897, p. 551, 12 novembre 1890, p. 270

(¹) *L'Éclairage Électrique* du 1er juillet 1899, t. XIX, p. 483.

rant son armature, fait pivoter le levier 26, fou sur l'axe 27 de la paroi 20, guidé par 41 sur la came 40, et relié par un ressort au levier 25, calé sur cet axe, de manière que le genou *t* ainsi formé, et dont les mouvements sont limités par les taquets 35, 36, 37 et 38, passe de la position figure 3 à celle figure 4 en rabattant la paroi 20 comme en figure 7 et que l'excédent de charge soit détourné

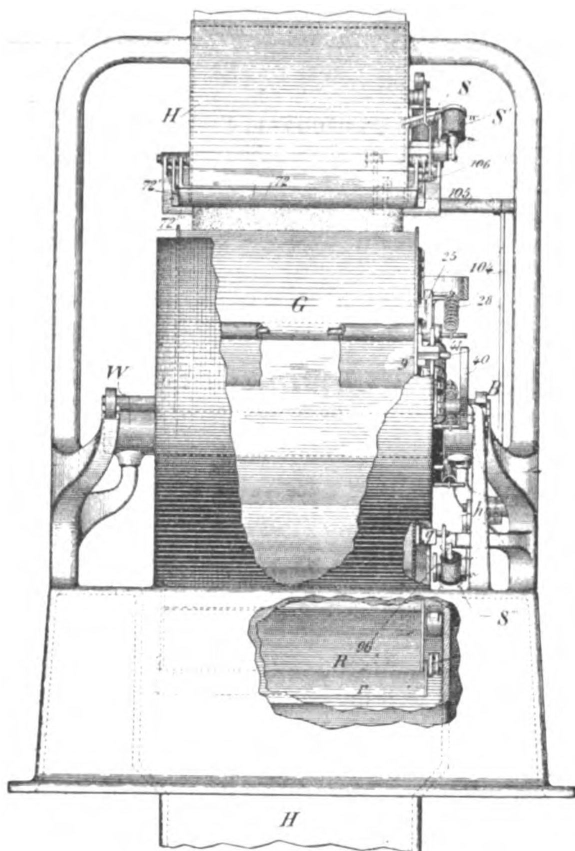


Fig. 1. — Balance automatique Richards (1899). Vue par bout.

vers le compartiment suivant C', ouvert à cette chute par le libre pivotement de sa paroi 21', limité par son taquet 22. Presque en même temps, le bras 30 de 25 ferme en *c* le circuit du solénoïde *s'* qui, comme en figure 7, achève par 72'' la fermeture de la trémie H.

Le tambour H, continuant à descendre, ferme en 66-67 le circuit du solénoïde *s'''* qui, abaissant le crochet *h*, permet à G de tourner par le balourd de C de manière à amener C à la place de C, qui se décharge dans la trémie H' en faisant basculer le clapet R de la position figure 3 à celle figure 4, où il rompt en 57-58 le circuit de *s*, qui reste ainsi ouvert malgré la fermeture de 53 par la remontée de G pendant la vidange de C. En même temps, cette bascule de R amène le levier 96 en position pour arrêter la rotation de G par

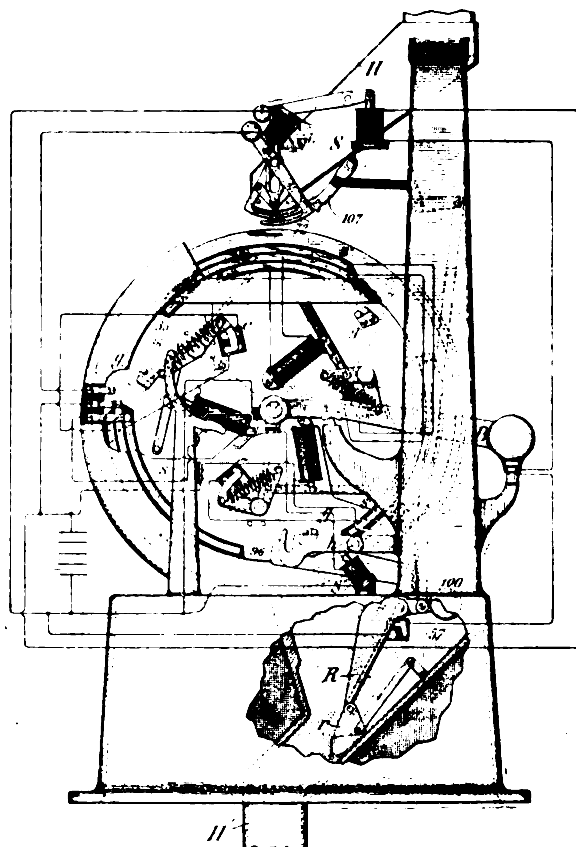


Fig. 2. — Balance Richards. Début du chargement.

le talon du toc *g'*, quand C' sera arrivé en position de chargement sous H, et, par le renvoi 103, 104, 105, 106, 107, il maintient 72'' dans sa position de fermeture. Après la décharge de C, R, revenant à sa position primitive, achève de vider en H' le petit godet *r*, qui sert à régulariser la chute du grain, déclanche 96 pendant que le ressort 100 ramène le crochet *h* en prise avec le toc *g'*, et referme le contact 57, de sorte qu'une nouvelle opération recommence.

La balance très simple de M. B. JOHNSON ne vise ni à l'automaticité complète ni à une grande précision. Quand l'écope F (fig. 9) a reçu un peu plus que sa charge, son plateau B, placé sur le levier C de la romaine E, s'abaisse comme de figure 9 à figure 10, et ferme en P le circuit d'une dynamo J qui, par l'élévateur G ramène en H l'excédent de matière, après

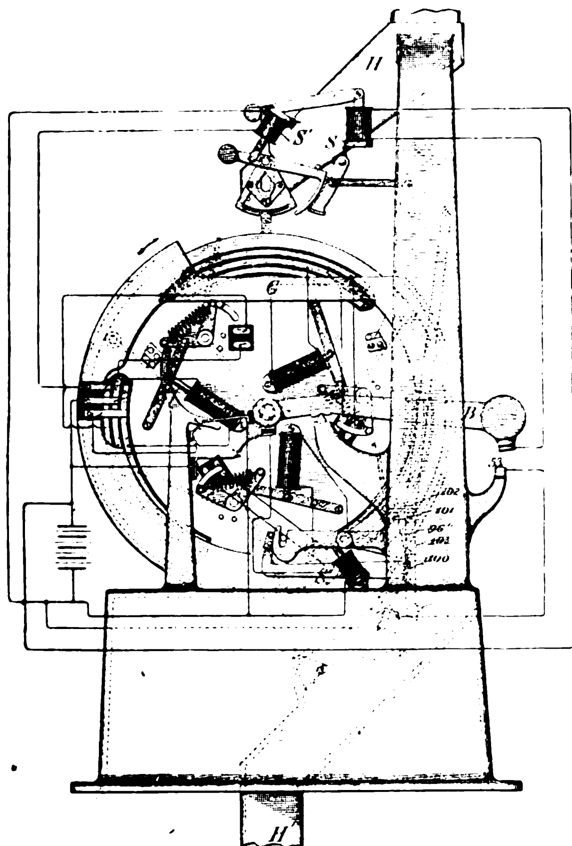


Fig. 3. — Balance Richards. Complément du chargement.

quoi, B, se relevant, arrête la dynamo. On n'a plus alors qu'à relever F, comme en figure 11, pour la déverser en B'.

De même pour le pèse-liquides de M. OVERBECK. Quand on ouvre par le levier I (fig. 12) la valve D_1, le cliquet E_1 s'enclenche avec G, et la maintient ouverte, en même temps qu'il ferme partiellement en F le circuit des piles C sur l'électro-aimant J. Quand le poids du liquide tombant de T en K par DD_1 est atteint, le plateau A, soulevant le fléau B de sa bascule, achève, en b_2, la fermeture du circuit de J, qui, attirant son armature J', déclenche de G de E, et laisse le ressort *o* fermer D'.

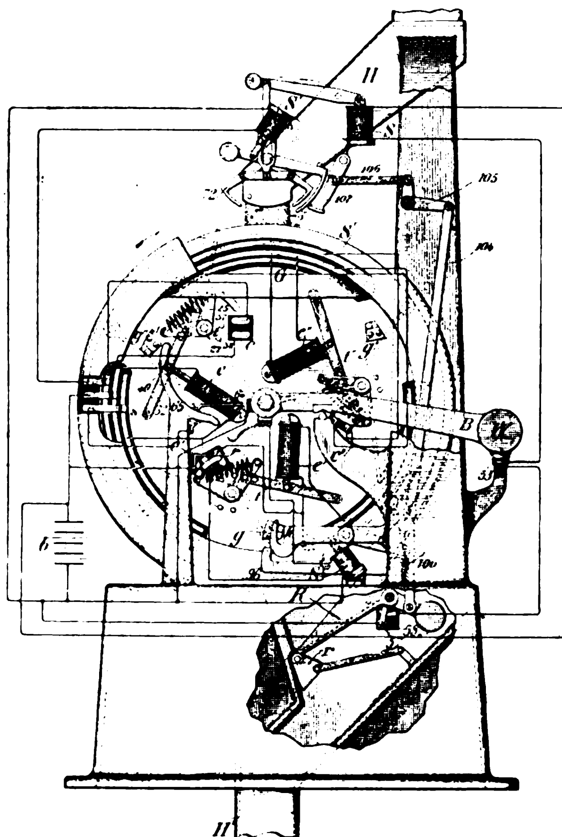


Fig. 4. — Balance Richards, fin du chargement.

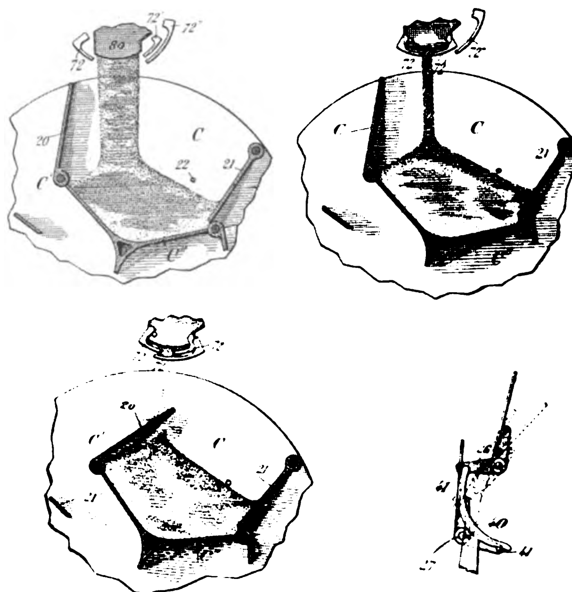


Fig. 5 à 8. — Balance Richards, détails.

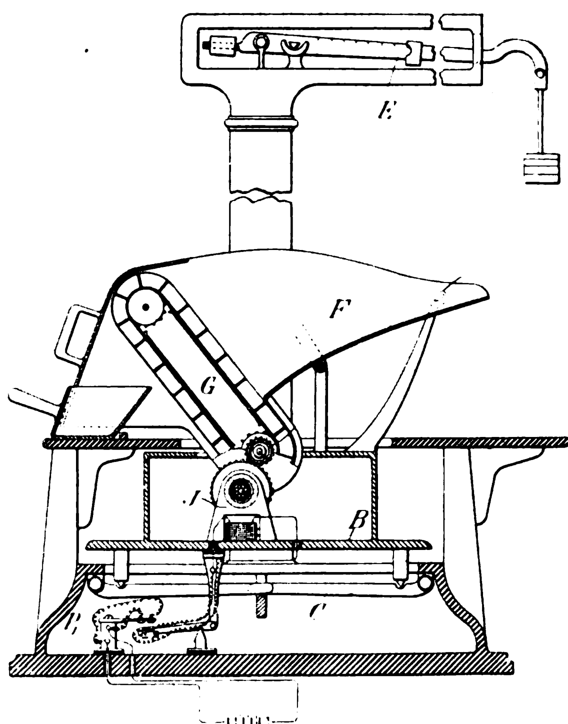


Fig. 9. — Balance Johnson (1899), avant pesée.

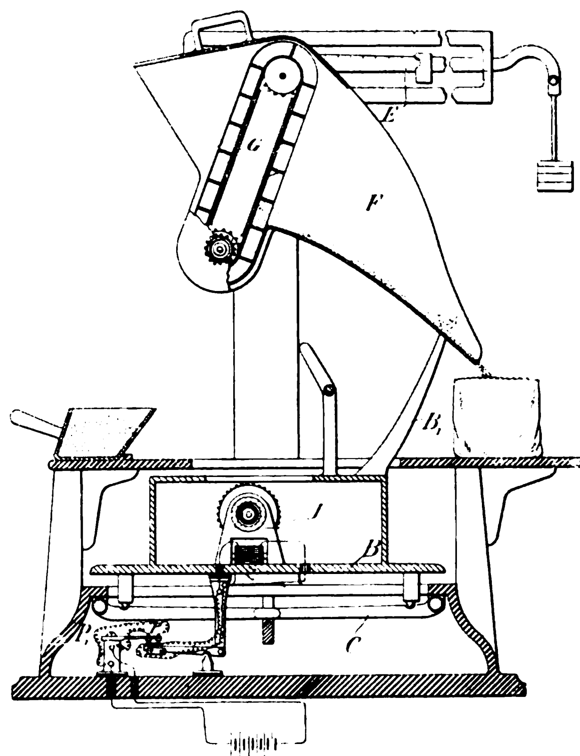


Fig. 11. — Balance Johnson en décharge.

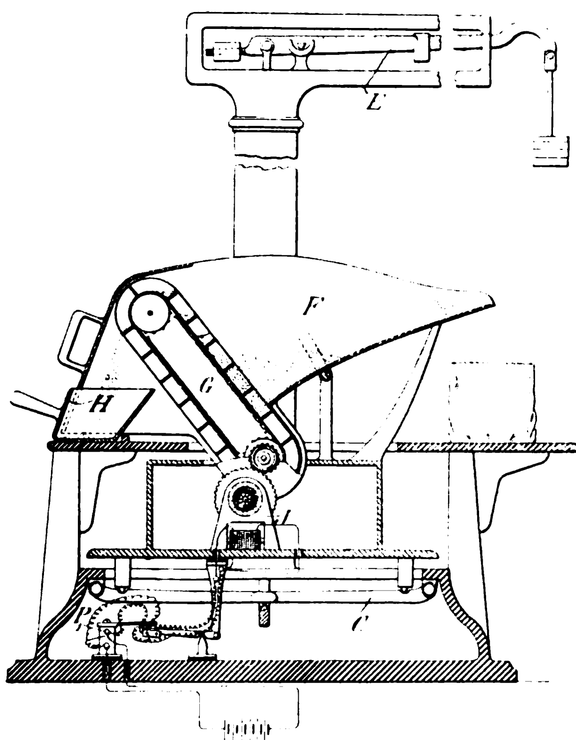


Fig. 10. — Balance Johnson, fin de pesée.

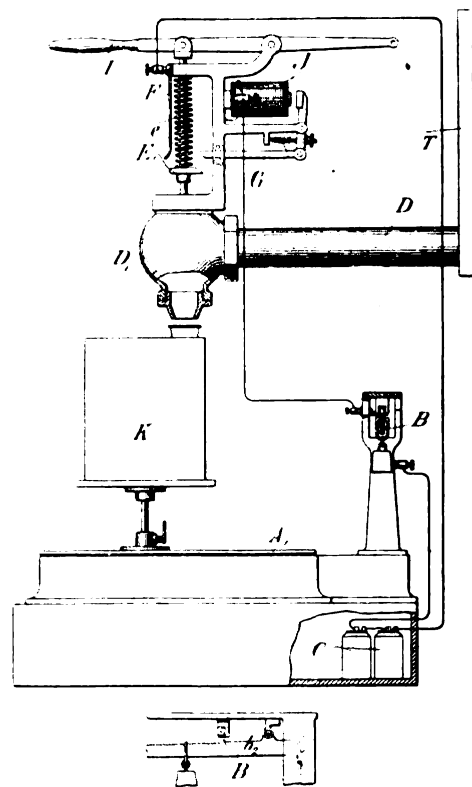


Fig. 12. — Balance Overbeck.

L'emploi de l'électricité est tout indiqué pour la commande des *arrêts à distance*, casse-fils, etc. Parmi les mécanismes d'arrêt pour machines à vapeur, l'un des plus employés

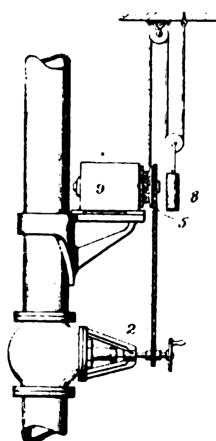


Fig. 13. — Arrêt Monarch (1899), ensemble.

est celui de Brady, connu sous le nom de Monarch, et dont nous avons déjà exposé le principe [1]. Ce principe consiste à faire déclencher au moment voulu soit (fig. 14) par le régulateur 77 de la machine, soit en pressant un bouton 76 quelconque, et ce au moyen d'un électro-aimant 60, renfermé dans la boîte 9 (fig. 13) la roue à chaîne 5 qui, entraî-

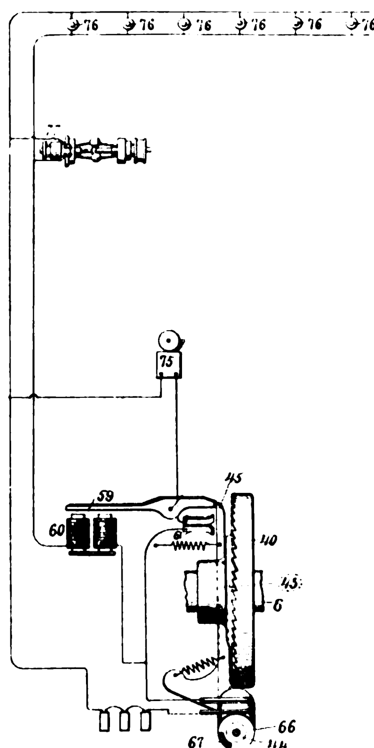
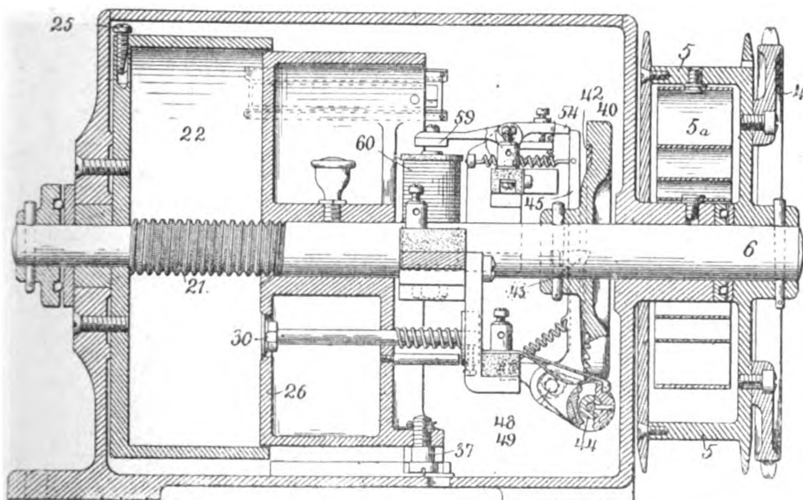


Fig. 14. — Arrêt Monarch, schéma des circuits.

née par le contrepoids V, ferme la prise de



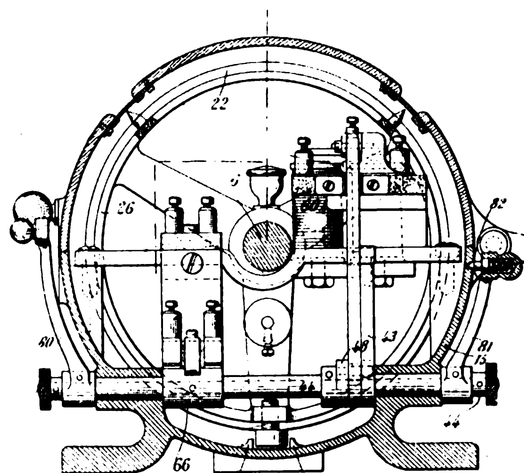


Fig. 15 et 16. — Arrêt Monarch, détail du mécanisme.

vapeur 2. La roue 5 n'est pas calée sur l'arbre C (fig. 15) de son rochet 40, mais elle lui est reliée par un ressort 5_x, bandé par le poids V et qui entraîne la roue 5 sans ralentissement

[1] *L'Éclairage Électrique*, 9 juillet 1898, p. 51.

d'inertie notable, aussitôt que 40 est déclenché, puis, à la fin de la chute du poids V,

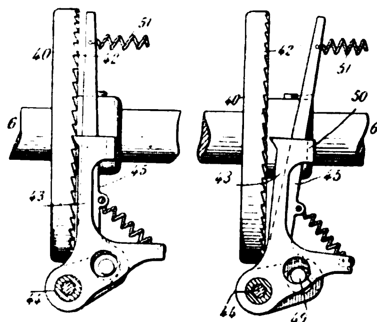


Fig. 17 et 18. — Arrêt Monarch, détail du cliquet.

en amortit l'arrêt. En outre, la chute du poids est ralentie par un dash-pot constitué par un piston 26, guidé par le galet 37 et fileté sur la vis 21 de l'arbre G, et dont la résistance est réglée par le pointeau d'échappement d'air 25; à la remontée du poids, l'air rentre dans le cylindre 22 du dash-pot par la soupape 30, à levée limitée par la butée 34.

Lorsque le courant passe dans l'électro 60, il attire son armature 59 qui, en 54, déclenche le levier 45, fou sur l'arbre 44, et ce levier, rappelé par le ressort 51 (fig. 17), vient (fig. 18) frapper sur le talon 50 du cliquet 43 également fou sur 44, avec assez de force pour le déclencher sûrement du rochet 42. En même temps, le levier 45 ferme en 61 (fig. 14) le circuit d'une sonnerie d'alarme 75. Pour enclencher 42 après avoir remonté les poids, il suffit de tourner par la manette 80 (fig. 16) l'arbre 44 jusqu'à ce que son levier

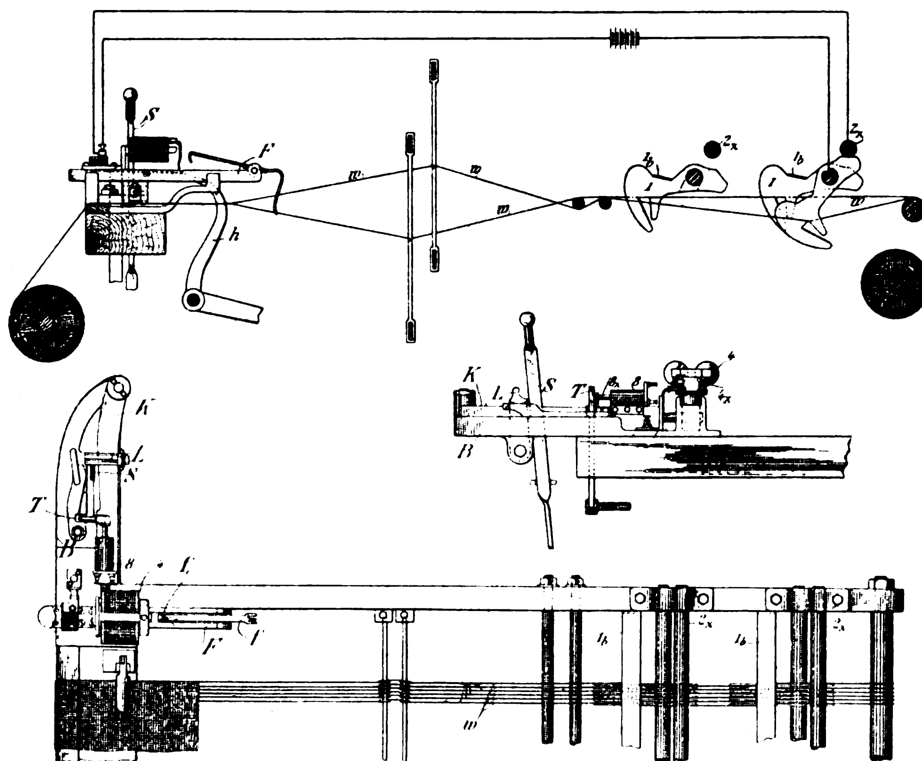


Fig. 19 à 21. — Casse-fils Baker et Kipp (1899), élévation, plan et vue par bout.

81 vienne s'enclencher par le cliquet élastique 82 sur la boite 15, position où la manivelle 48 de 44 aura, par son bouton 49, ramené 43 et 45 dans leurs positions primitives. Enfin le contact 66 (fig. 14) peut être tourné sur 44 de manière à rompre définitivement, par son isolant 67, le circuit de la sonnerie 75.

L'arrêt du métier à tisser de la Kipp Armstrong C°, de New-York, fonctionne par une

série de petits osselets 1, 1 (fig. 19) à levée limitée par les barrettes 1^6, appuyés sur les

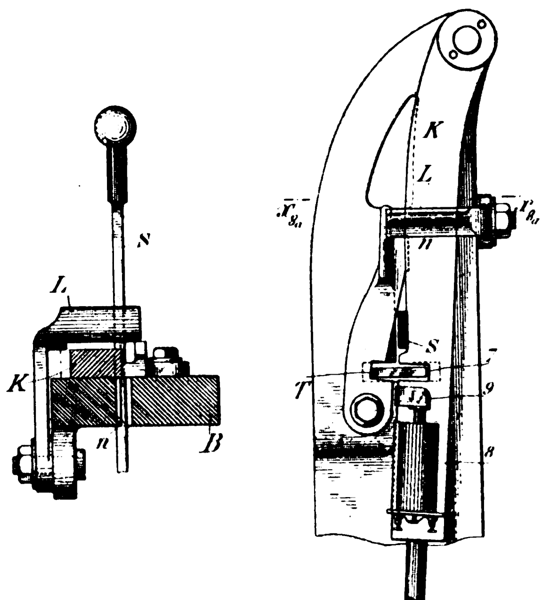


Fig. 22 et 23. — Casse-fils Baker et Kipp, détail du leveur K.

fils de chaîne *w*, et qui, dès que l'un de ces fils se rompt, ferme en 2^x 2^x les circuits de deux électro-aimants montés l'un, 4, sur une glissière F (fig. 24) et l'autre, 8, sur un levier K (fig. 23). L'électro 4, attirant son armature 6, amène la butée 5_x de la lame flexible 5 devant le battant *h*, qui repousse la glissière F et le levier K ; ce levier repousse la barre S de la fourche des courroies de manière à la déclencher en *n* (fig. 22) et à lui permettre de faire, par le rappel de son ressort, passer la courroie sur la poulie folle, en même temps que le frein L, lâché par K, arrête immédiatement le métier.

Quand c'est non pas un fil de chaîne mais un fil de trame qui se brise, l'extrémité *f'* (fig. 24) du crochet de trame *f f'* tombe par son propre poids devant *h*, qui comme précédemment, arrête le métier ; mais, en outre, puisqu'il n'y a pas de fermeture du circuit, l'électro *n* (fig. 23) n'attire pas son armature 9, qui, venant alors, en 7, fermer l'encoche du levier K, fait que ce levier repousse non seulement, comme précédemment, les leviers S et L, mais encore le levier T, qui débraye le métier et permet de ramener la toile en avant.

Enfin, l'électro *v* a une autre fonction

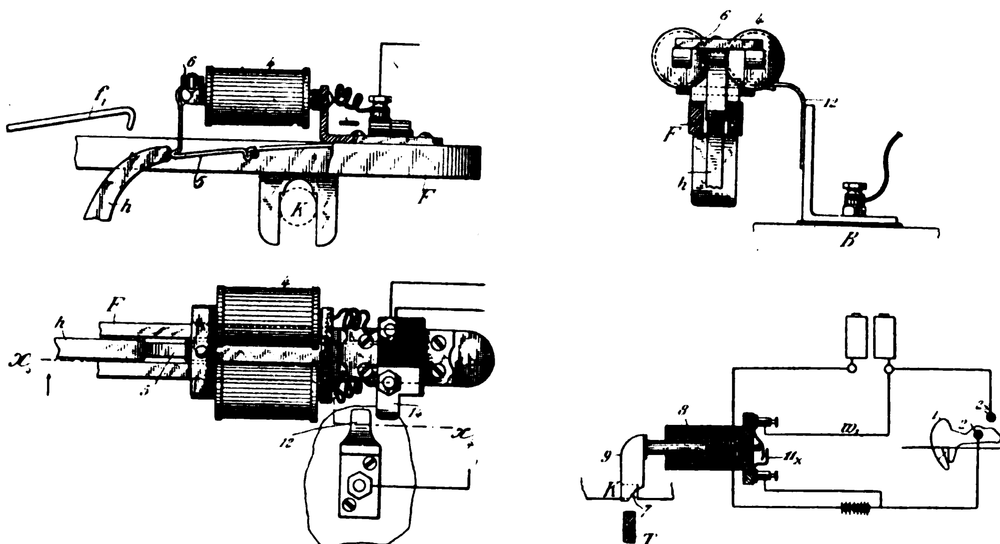


Fig. 24 à 27. — Casse-fils Baker et Kipp, détail des électros et schéma des circuits.

que celle d'écarter de T son poussoir 9, en cas de rupture d'un fil de chaîne ; il ferme en même temps en 11^x (fig. 27) une dérivation w_1, qui maintient les électros 4 dans le courant jusqu'au déplacement de F par *h*, c'est-à-dire jusqu'à l'arrêt du métier, évitant

ainsi que la rupture du circuit en 2^x par une

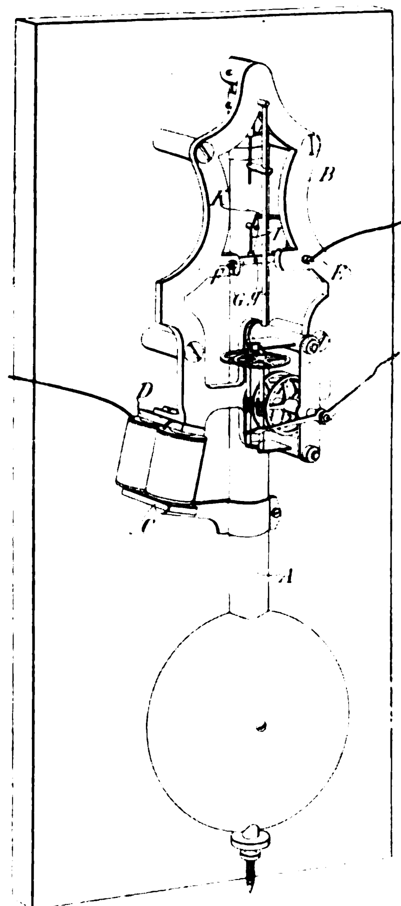


Fig. 28. — Horloge Hastings (1899).

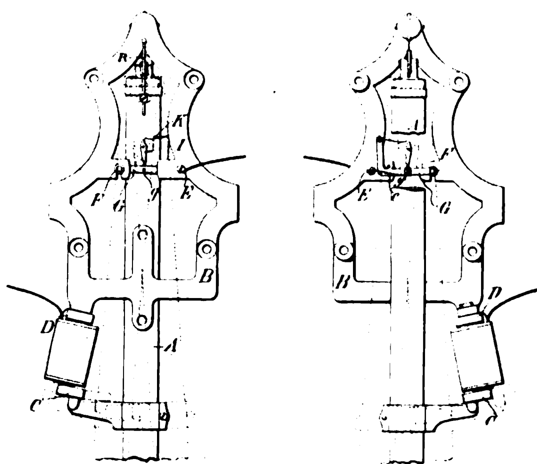


Fig. 29 et 30. — Horloge Hastings, détail.

trépidation capable de faire sauter le contact 1, n'empêche cet arrêt. Puis, à la fin du déplacement de F, le circuit est définitivement rompu par la séparation des contacts 14 et 12 (fig. 25).

L'*horloge électromagnétique* de M. W. Hastings a (fig. 28), le mouvement de son pendule A entretenu par l'électro-aimant D, qui, excité à chaque retour du pendule vers

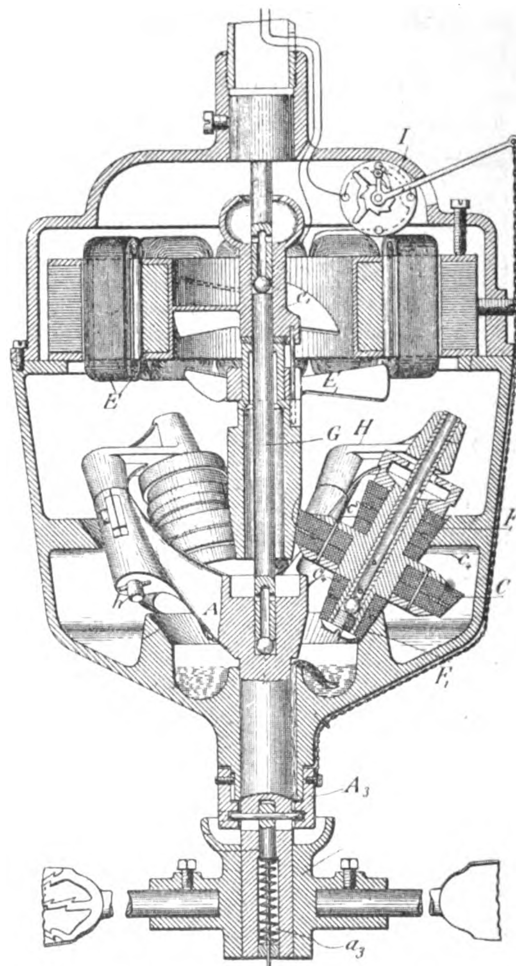


Fig. 31. — Ventilateur Collins (1899).

D, attire son armature C; ces ruptures et établissements du circuit de D sont, à cet effet, exécutés par un mécanisme simple et ingénieux, au moyen d'un osselet I (fig. 29), pivoté sur la tige du pendule. Quand le pendule, dépassant la verticale, se rapproche de D, l'osselet I, prenant la position pointillée correspondante en roulant sur le couteau *g* du levier G, pivoté en F, appuie ce levier sur

le ressort *e*, et appuie lui-même sur le ressort K de manière à fermer le circuit de D par E*eg*I K G et le châssis B. Le circuit reste fermé jusqu'à l'arrivée de C bien au droit des pôles de D, puis se rompt de manière à assurer à chaque impulsion électrique son rendement maximum, et les surfaces des contacts sont parfaitement décapées par le roulement de l'extrémité fourchue de I sur *g* et par son frottement sur K.

Le *ventilateur électrique* de M. Collins est commandé par l'arbre G (fig. 31), de la dynamo E, pivoté sur billes, et dont le man-

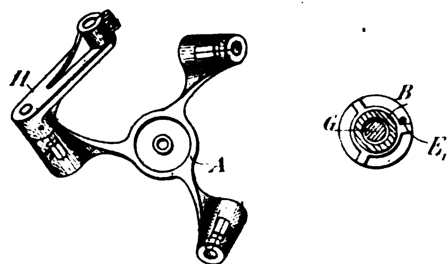


Fig. 32 et 33. — Ventilateur Collins, détail.

chon *e'* entraîne librement par la tige E' (fig. 32) le manchon B, lequel, en prise avec les roues de friction *c* de l'étoile A (fig. 33) la fait tourner par le roulement de ses petites roues $c_1 c_3$ sur les cônes fixes F'F' : cette étoile A, solidaire de l'arbre *g* du ventilateur, l'entraîne ainsi à une vitesse réduite. Les axes des roues $c_1 c_2 c_3$, à bras H, pivotés sur *h*, permettent à ces roues de s'ajuster automatiquement sur leurs roulements. Le commutateur I se manœuvre de la tige a_3 par une douille A_3 et sa chaîne.

Le graissage est un point des plus importants pour le bon fonctionnement de ces ventilateurs électriques : celui des ventilateurs de Parker et Meston, construits par l'*Emerson Electric C°*, de Saint-Louis, est (fig. 341) assuré par une couche de vaseline, enfermée autour de l'arbre D entre les portées H H du manchon G, sur lequel est calée l'armature F du dynamoteur, et qui entraîne le ventilateur

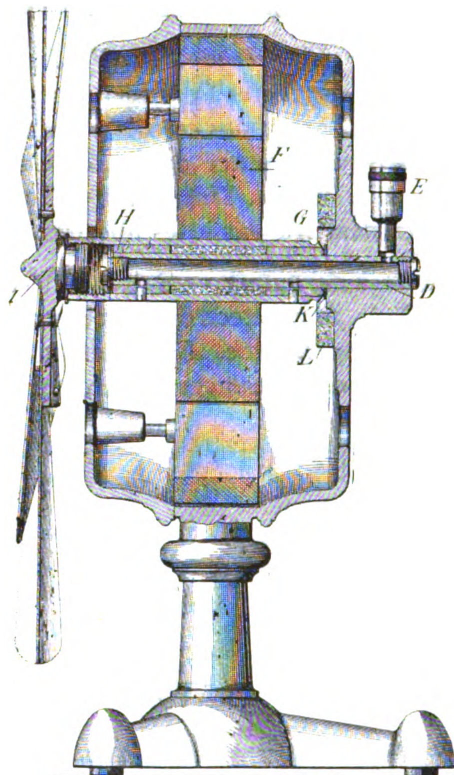


Fig. 34. — Ventilateur Parker et Meston.

par son bouchon fileté I. L'arbre creux D reçoit, en outre, en E, de l'huile qui passe à H par des petits trous. La butée de C est serrée par une rondelle K, avec feutre L, pour absorber l'huile qui s'échappe de K.

(*A suivre.*)

G. Richard.

***

THÉORIE DE LA COMMUTATION

DANS LES MACHINES A COURANT CONTINU (1)

D'après Fischer-Hinnen

IV. — Examen des données de construction.

De tout ce qui précède, M. Fischer tire maintenant des règles pratiques pour la construction. Ce sont des calculs un peu complexes, mais pour mettre de son côté toutes les chances de succès, l'ingénieur qui étudie un projet n'hésitera pas à les aborder.

1° *Décalage des balais.* — Soit a le décalage moyen, E_m la force électromotrice moyenne induite correspondante, E la tension aux bornes : pour des décalages pas trop grands.

$$E_m = \frac{E.2p_1\delta}{\beta\xi N_2}\left[\frac{1}{c-a} - \frac{1}{c+a}\right] = \frac{I}{p_1}\cdot\frac{L}{T}. \quad (16)$$

En posant

$$\frac{2E.p_1^2.\delta.T}{\beta.\xi.N_2.I.L} = u \quad (17)$$

on obtient

$$\frac{a}{c} = -\frac{u}{c} + \sqrt{\left(\frac{u}{c}\right)^2 + 1}. \quad (18)$$

(Cette valeur de $\frac{a}{c}$ ne doit pas dépasser une valeur déterminée, fondée sur l'expérience.)

Voici donc une première règle de construction :

$\frac{a}{c}$ doit être aussi petit que possible : il s'ensuit que $\frac{u}{c}$ doit être aussi grand que possible.

L'étude d'un grand nombre de machines, montre que $\frac{a}{c}$ pour les bonnes machines doit au maximum être pris égal à 0,5 ou 0,6, ce qui correspond à une valeur minima pour $\frac{u}{c}$ de 0,75 à 0,53.

De l'équation (135), on tire, comme seconde règle :

$$\frac{u}{c} = \frac{0.64\,\delta p}{\xi\varepsilon D(1-\beta)\beta}\cdot\theta_1 \geq 0.53.$$

Le nombre de lames au collecteur est, on le voit, sans influence sur le décalage moyen des balais. Il ne faut pas en conclure qu'il est sans influence sur la commutation. Il a été établi que, théoriquement, θ doit être > 1. Pratiquement, il suffit que θ ne soit pas trop en dessous de l'unité : ceci donne une troisième règle théorique, qui sera modifiée dans le sens qui vient d'être indiqué.

$$\theta = \frac{rT}{L} = \frac{\gamma}{\gamma_1}\cdot\frac{1}{k}\,\frac{\rho\beta\mathfrak{B}N_2}{4spE}\cdot\frac{1}{\left(\frac{DK_1}{p\delta_1}+K_2+\ldots\right)} > 1. \quad (15)$$

Le nombre de lames au collecteur dépend donc de la tension aux bornes, du nombre de pôles, de l'induction et de la densité de courant.

2° *Forme de la courbe en court circuit.* — Les deux dernières conditions précédentes étant remplies, il peut arriver par exception qu'une machine présente des étincelles. La cause en est à rechercher du côté de la force électromotrice E_T qui monte trop vite ou trop haut. Si en particulier E_T est inférieur à

$$\frac{I}{p}\left(\frac{ar}{2}+\frac{L}{T}\right)$$

la densité de courant, à la fin de la commutation, est plus grande qu'avant le court circuit. Afin que ceci n'arrive pas, il faut que (éq. 14 et a).

$$T.\frac{dE_m}{dt} = \frac{4Ep_1\delta\gamma}{\beta\xi N_2 c^2}\,\frac{1+\frac{a^2}{c^2}}{\left(1-\frac{a^2}{c^2}\right)^2} = E_T - E_0$$

c'est-à-dire

$$= \frac{I}{p_1}r_2,$$

(1) Voir le précédent numéro, p. 41 ; voir aussi plus loin (p. 120) quelques corrections à faire dans la première partie de cet article.

ou au moins ne s'éloigne pas beaucoup de cette relation.

Si on pose

$$\frac{1 + \frac{a^2}{c^2}}{\left(1 - \frac{a^2}{c^2}\right)^2} = M,$$

et

$$2\, M \frac{u}{c} = Q$$

et qu'on remplace r_3 par sa valeur, on obtient

$$\frac{\delta \gamma M}{\xi \varepsilon \beta c^2} = \frac{1,6\, \delta \gamma p^2}{\xi \varepsilon D^2 (1 - \beta)^2 \beta} . M \geqq 1 \text{ ou très peu} < 1.$$

En combinant cette formule avec celle de la seconde règle, on voit que $\left(\frac{u}{c} \cdot \frac{2\gamma}{c\theta_1} . M\right)$ doit être voisin de 1.

Ou encore $\frac{Q\gamma}{c\theta_1}$ doit être voisin de 1.

Il faut bien noter que la valeur calculée de a, si θ est < 1, n'est qu'un simple rapport numérique qui ne peut servir à juger une machine. Le véritable décalage de balais est, dans ce cas, beaucoup plus petit, et n'est pas susceptible d'un calcul exact. Cependant, on peut dire que le décalage est d'autant plus petit que le quotient $\frac{Q\gamma}{c\theta_1}$ est plus grand.

L'équation (11) peut parfaitement servir à contrôler la forme de la courbe de courant. Pour que la variation du courant soit autant que possible représenté par une droite, il faut que $i_2 \gamma l_1$ soit à peu près égal à $\frac{I}{p_1}$, autrement dit que le rapport

$$\frac{i_2 \gamma l_1}{\frac{I}{p_1}} = \frac{\left(\frac{\alpha}{2} + 1\right)\theta + \theta \frac{E_0}{r} \frac{p_1}{I}}{\theta + 1}$$

soit aussi voisin que possible de 1.

Cependant E_0 est mal connu ; aussi, comme il ne s'agit que d'ordres de grandeur, remplacera-t-on E_0 par E_T ; on obtient

$$\frac{i_2 \gamma l_1}{\frac{I}{p_1}} = \frac{\alpha + 2}{1 + \frac{1}{\theta}} = \frac{\alpha + 2}{1 + \frac{\alpha}{\theta_1}}$$

et ce rapport est un peu trop grand pour $\theta > 1$, un peu trop petit pour $\theta < 1$.

Tableau des valeurs de $\frac{a}{c}$, $\frac{u}{c}$, M et Q.

$\frac{a}{c}$	$\frac{u}{c}$	M	Q
0,05	9,97	1.01	20
0,075	6,62	1,02	13,5
0,100	4.95	1,03	10,2
0,125	3,93	1.05	8.25
0,150	3.26	1,06	6,9
0,175	2,77	1,10	6,1
0,200	2,40	1,13	5,42
0.225	2,11	1,17	4,94
0,250	1,87	1,20	4,49
0,275	1,68	1,26	4.24
0,30	1,51	1,31	3,81
0.35	1,25	1,45	3,63
0,40	1,05	1,65	3,46
0,45	0,89	1.88	3,36
0.50	0,75	2.23	3,35
0.55	0,636	2,65	3,37
0,60	0,534	3.32	3,54
0,65	0,446	4.22	3,76
0,675	0,404	4.91	3,97
0,70	0,364	5,73	4,16
0,725	0,328	6,75	4.44
0,75	0,294	8	4,70
0,775	0.258	10	5,16
0,80	0,225	12,6	5.66
0,82	0,200	15,6	6,24
0,84	0,175	19,7	6,90
0,86	0,151	25,7	7,80
0,88	0,128	34,7	8,9
0,89	0,117	41	9,6
0,90	0,106	50	10,6
0,91	0,095	61,8	11,7
0,92	0,084	78	13,1
0,93	0,072	102,5	14,8
0,94	0,062	142	17,6
0,95	0,051	202	22,5
0,96	0,041	314	25,7
0,97	0,030	556	33,4

M. Fischer donne ensuite l'important tableau qui sanctionne la valeur pratique des conclusions qui ont été indiquées. Il se rapporte à un grand nombre de dynamos essayées avec soin ; les machines sont rangées d'après leur manière de se comporter relativement aux étincelles.

Les numéros de types se rapportent à la

planche II de l'ouvrage français; afin de simplifier les recherches, nous indiquerons cependant ces types.

N° 12. — Type Manchester.
N° 18. — Type cuirassé.
N° 22. — Type à pôles conséquents.
N° 25. — Type Œrlikon multipolaire. } pôles venus de fonte avec la culasse.
N° 26. — Type Brown polygonal multipolaire. }
N° 27. — Type Brown circulaire multipolaire à pôles rapportés.
A*l* enroulement en anneau, induit lisse.
A*d* » » » denté.
T*l* » en tambour » lisse.
T*d* » » » denté.
M balais métalliques.
C frotteurs en charbon.

Une machine peut donc être regardée comme, véritablement bonne si

$$\frac{a}{c} < 0{,}5 \text{ ou } 0{,}6$$

$$\frac{Q\gamma}{c\theta_1} \text{ entre } 0{,}6 \text{ et } 2{,}6$$

$$\frac{i_2\gamma l_1}{\frac{1}{p_1}} \geq 0{,}8$$

$$\frac{c}{\delta} > 4.$$

Si ces conditions sont remplies, on peut prédire en toute assurance que la machine fonctionnera bien.

Nous avons rencontré de plus la condition $\theta = \frac{\theta_1}{\alpha} > 1$, mais cette condition n'est pas à remplir en toute rigueur. Voici donc la mar-

N°	PUISSANCE				TYPE	CONSTRUCTION					
	KW₃	Nombre de tours par minute	Volts	Ampères		D	*l*	N	N_2	δ	*p*
1	5	1 600	100	50	N° 12. — Al — M	24,5	25	184	46	0,95	1
2	62,5	600	500	125	N° 28. — Tl — M	70	35	352	176	1,4	3
3	10	1 200	100	100	N° 12. — Al — M	29	30	150	50	1	1
4	196	300	530	370	N° 27. — Td — C	115	55	488	244	1	2
5	10	285	500	20	N° 22. — Al — C	35	25	1 356	113	1,4	2
6	50	600	125	400	N° 26. — Td — { M[1] C[2] }	56	34	224	112	0,75	2
7	22	800	110	200	N° 18. — Td — C	30	32	136	34	0,7	1
8	160	350	120	1 340	N° 27. — Td — M	116	37	216	108	0,6	3
9	20	800	100	200	N° 12. — Al — M	42	42	144	72	1,5	1
10	43,2	750	1 800	24	N° 12. — Al — M	51	50	1 120	140	1	1
11	250	85	140	1 800	N° 27. — Td — M	250	40	768	384	0,9	6
12	413	150	55	7 500	N° 25. — Tl — M	237	43	432	216	2,45	12
13	220	230	1 550	142	N° 27. — Al — C	150	54	768	256	2	5
14	242	330	184	1 316	N° 27. — Td — M	115	51	304	152	1,5	4
15	2,5	1 300	125	20	N° 18. — Td — M	18	16	400	50	0,35	1
16	4,5	1 200	125	36	» — Td — M	18	22	352	44	0,4	1
17	40	700	125	320	N° 25. — Td — M	41	32	122	61	0,6	2
18	15	450	500	30	Forme de caisse. — Ad — C	40	30	708	118	0,2	2
19	30	800	125	2 400	N° 25. — Td — M	39,4	27	138	69	0,5	2
20	10	1 000	125	80	N° 18. — Td — M	24	27	216	54	0,4	1
21	48	500	120	400	N° 12. — Td — M	51,5	40	120	60	0,3	1
22	60	500	120	500	» M	62,2	40	140	70	0,6	1
23	9,9	1 050	110	90	N° 27. — Td — M	21,6	26	208	52	0,2	1

che à suivre : exprimer

θ_1 d'après l'équation. 14

$\theta = \frac{\theta_1}{\alpha}$ » » 15

$\frac{u}{c}$ » » 18

$\frac{Q\gamma}{c\theta_1}$

$\frac{\alpha + 2}{1 + \frac{\alpha}{\theta_1}}$

M. Fischer étudie enfin rapidement comment on peut modifier des machines construites, afin de diminuer les étincelles aux balais.

Premier cas. — $\frac{a}{c}$ est $> 0{,}6$, généralement, $\frac{Q\gamma}{c\theta_1}$ est en ce cas beaucoup trop grand. Il faut agir avec précaution. Prendre comme règle générale que θ_1 doit être aussi grand que possible ; ceci revient à augmenter aussi γ et indirectement à diminuer Q. Si l'entrefer est originairement très petit, il est naturel d'aléser d'avantage le circuit magnétique et éventuellement de modifier les pièces polaires pour que le rapport $\frac{c}{\delta}$ ne tombe pas au-dessous de 4 ; $\frac{u}{c}$ diminue avec β, au moins jusqu'à $\beta = 0{,}5$. On ne va guère au-dessous, mais cela se compense avec la diminution correspondante de θ_1.

Deuxième cas. — Les machines 15, 16, 18, montrent la propriété

$$\frac{a}{c} > 0{,}6$$

u II

DONNÉES ÉLECTRIQUES										CARACTÉRISTIQUES					
L_1 ·o⁻⁶	L_2 10^{-6}	L_3 10^{-6}	L_4 10^{-6}	L	r_3	T	α	θ_1	θ	$\frac{u}{c}$	$\frac{a}{c}$	$\frac{Q\gamma}{c\theta_1}$	$\frac{i_2\gamma l}{I} / p_1$	$\frac{c}{\delta}$	
2.55	0,80	»	»	3.35	0,0061	0,001	0,92	2,92	3,2	5,45	**0,09**	0,6	2,22	5,05	
2.35	0,42	»	»	2,77	0,00145	0,00057	0,47	0,3	0,641	1,72	**0,27**	2,6	0,96	3,54	Excellentes machines.
4.25	0.55	»	»	4,8	0,0032	0,00118	1,07	0,79	0,74	1,1	**0,38**	0,7	1,3	6,35	
1,1	1.25	2,74	»	5,18	0,00188	0,00234	0,17	0,85	5	1	**0,41**	0,85	1,8	11,7	
2,6	7,2	»	»	59,8	0,058	0,0025	2,3	2,43	1,05	0,425	0,66	0,24	2,2	4,75	Moteur.
0.55	0,87	1,56	»	2,98	0,00094	0,0018	0,53 (1) / 0,073 (2)	0,58	1,1 / 8	0,95	**0,42**	0,84 / 1,05	1,32 / 1,84	11,1	
6,65	5.4	8,7	3,?	20,95	0,00348	0,0022	0.365	0,365	0,68	0,7	0,52	1,32	1.39	13,8	
0.89	0,445	0.930	»	2,265	0,00051	0,00158	0,685	0,354	0,516	0,55	**0,59**	1,1	0,91	15	Bonnes machines.
2.8	0,34	»	»	3,14	0,00117	0,00119	0,57	0,443	0,87	0,53	**0.6**	0,7	1,17	7,65	
	6.4	»	»	57,4	0,0492	0,00048	11	0,41	0,037	0.545	**0,6**	1,07	0,4	6,4	
.04	0,96	2,56	»	4.56	0,00048	0,00185	0,307	0,194	0,633	0,45	**0,65**	1,72	0,9	10,7	
.95	0,17	»	»	1,12	0,0003	0,00224	1,1	0,6	0,546	8,1	0,07	**14,8**	1,1	2,29	
.2	2,43	»	»	17,63	0,00375	0,00166	0,706	0,352	0.5	1,9	0,25	**3,5**	0,9	3,3	
.43	0,59	1,63	»	3,65	0.00088	0.00141	1	0,34	0,34	2,16	0,22	**4,9**	0,76	3,6	
.2	6,5	10,2	»	25,9	0,0265	0,001	3.26	1,02	0,312	0.4	**0.68**	0,455	1,25	19,7	Machines moyennes.
.4	8	12,6	»	24,8	0,0152	0,00127	3	0,78	0,26	0,395	**0,68**	0,745	1,04	17,2	
.04	0,74	2,35	»	4,13	0,001	0,0015	0,68	0,364	0,535	0.34	**0,71**	2,36	0,93	9,16	Moteur.
.3	54	26,6	9.1	107	0,054	0.0017	2,16	0,86	0,4	0.32	**0,73**	0,875	1,19	3	
,95	0,65	1,81	»	4.41	0,00075	0,00107	0,234	0,182	0,78	0,276	**0,76**	3.5	0,98	10,8	
,3	3	6.36	»	13,66	0,0035	0,001	1,06	0,256	0.24	0,155	**0,87**	2.5	0,6	24	
,47	0,51	1,23	»	4,21	0,00072	0.0016	0,51	0,274	0,538	0,048	**0,95**	18,7	0,87	25	Mauvaises machines.
,48	0,51	1,45	»	4,44	0,00055	0,00132	0,5	0,164	0,33	0,037	**0.96**	11,4	0,62	25	
.56	2,74	6,65	»	12,95	0,00026	0,00088	0,59	0,177	0,3	0,115	0,89	26,3	0,6	11	

avec

$$\frac{Q\gamma}{c\theta_1} < 1.$$

La machine doit être alésée davantage, et on peut encore l'améliorer en déplaçant quelques balais vers l'avant à chaque rangée de balais.

Troisième cas. — Si $\frac{a}{c}$ est $< 0,5$ et au contraire $\frac{Q\gamma}{c\theta_1}$ très grand, l'erreur provient presque toujours de ce que la distance des pôles est trop petite et δ trop grand. Si on ne peut diminuer l'alésage en interposant des tôles (machines à pôles rapportés), on doit augmenter c. Une diminution de γ peut aussi ne pas être nuisible, quoique l'effet de cette modification ressorte plus indirectement (Q est diminué).

Jacques Guillaume,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

ACCUMULATEURS POUR AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES

Dans une série d'articles publiés il y a quelques mois, nous avons fait connaître à nos lecteurs les renseignements que nous avons pu, à grand'peine, recueillir sur les accumulateurs Fulmen [1], Faure-Sellon-Volckmar (système Valls et Cie) [2], Pulvis [3], de la Société anonyme pour le travail des métaux [4] et enfin sur les accumulateurs Pisca [5].

Nous compléterons aujourdhui ces indications par la publication des renseignements que nous avons récemment obtenus sur des accumulateurs de traction de construction française et de construction étrangère. Nous avons pris ceux qui concernent les accumulateurs B. G. S. et les accumulateurs Blot-Fulmen, dans l'intéressant ouvrage que viennent de faire paraître MM. Ch. Milandre et Bouquet, sur les *Voitures automobiles électriques ;* les renseignements concernant les autres accumulateurs nous ont été fournis par les constructeurs, ou ont été puisés dans les publications étrangères. Toutefois, faute de les avoir eus aussi complets que nous l'eussions désiré, nous n'avons pu continuer à mettre sous la forme que nous avions adoptée, les principales données relatives aux poids, dimensions, conditions de fonctionnement de ces accumulateurs.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 313, 19 novembre 1898.
(2) *Idem.*, t. XVII, p. 407, 3 décembre 1898.
(3) *Idem.*, t. XVII, p. 522, 24 décembre 1898.
(4) *Idem.*, t. XVII, p. 545, 31 décembre 1898.
(5) *Idem.*, t. XVIII, p. 86, 21 janvier 1899.

I. Accumulateurs B. G. S.

MM. Bouquet, Garcin et Schivre emploient, pour actionner leurs voitures automobiles [1],

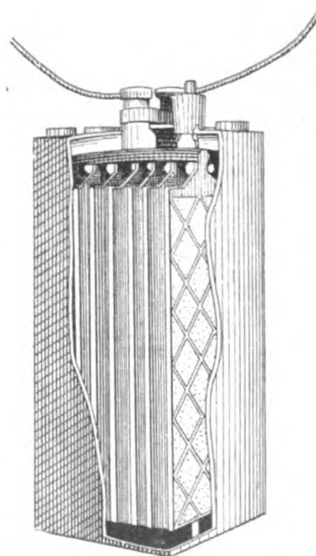


Fig. 1. — Accumulateur B. G. S.

des accumulateurs de leur invention à formation hétérogène. La pâte est maintenue

(1) Voir pour la description de ces voitures : *L'Éclairage Électrique*, t. XVI, p. 453, 10 septembre 1898.

par une grille à larges mailles en forme de losanges (fig. 1); elle est, d'après les constructeurs, entièrement insensible aux actions moléculaires et ne se désagrège pas aux régimes les plus durs de la traction électrique. Les connexions sont effectuées à la soudure autogène. Les bacs sont fermés hermétiquement, les gaz pouvant néanmoins s'échapper à travers un bouchon de verre empêchant le passage de l'eau acidulée même sous l'influence des cahots les plus violents. Les types d'éléments les plus usuels sont à 11, 13, 15, 17 et 19 plaques.

Les essais faits sur des éléments du type V_{15} à 15 plaques, ont donné les résultats suivants pour les valeurs de la capacité par kilogramme de plaques à divers régimes de décharge :

CAPACITÉ par kg. de plaques.	DURÉE de la décharge.	DÉBIT par kg. de plaques.
26,7 amp-h.	17 h. 48 m.	1,5 amp.
23,8 —	12 h. 24 m.	2 —
22,2 —	7 h. 24 m.	3 —
20,65 —	5 h. 9 m.	4 —
19,35 —	3 h. 52 m.	5 —

La courbe de la figure 2, construite d'après ces résultats, donne la variation de la capacité avec le débit, les débits par kilogramme de plaques étant portés en abscisses et les capacités correspondantes, rapportées également au kilogramme de plaques, étant portées en ordonnées.

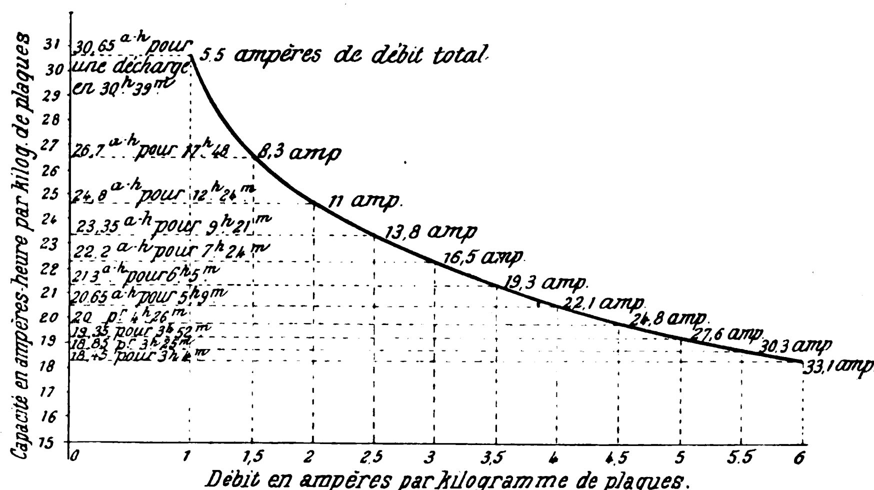


Fig. 2. — Loi de décharge d'un accumulateur B. G. S. à 15 plaques.

Ce tableau et cette courbe indiquent une variation relativement faible de la capacité avec l'intensité du courant de décharge. On peut d'ailleurs se convaincre que cette variation est plus faible que celle de beaucoup d'autres accumulateurs d'usage courant.

Si en effet on cherche les coefficients de la relation de Peukert [1] qui lie l'intensité I du courant de décharge d'un accumulateur à la durée t de la décharge, on trouve, au moyen des nombres inscrits sur la courbe, qui indiquent le débit total de l'élément, et de ceux inscrits sur les lignes de rappel horizontales, qui indiquent les durées correspondantes,

$$I^{1,26}\, t = 255,26$$

On en déduit, en appelant I_1 le débit correspondant à une durée t_1,

$$\left(\frac{I}{I_1}\right)^{1,26} = 255,26\, \frac{t}{t_1},$$

et par suite, pour le rapport des capacités aux

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XV, p. 143, 23 avril 1898.

deux régimes considérés,

$$\frac{C}{C_1} = 255,26^{\frac{1}{1,26}} \left(\frac{t}{t_1}\right)^{\frac{0,26}{1,26}}$$

ou approximativement, en confondant 1,26 avec 5/4,

$$\frac{C}{C_1} = 255,26^{\frac{5}{4}} \left(\frac{t}{t_1}\right)^{\frac{1}{5}}$$

Or, d'après les essais faits par M. Loppé sur différents types d'accumulateurs, les valeurs de l'exposant de I dans la formule de Peukert sont généralement supérieures à 1,25 et peuvent même atteindre 2 ; par conséquent les valeurs de l'exposant de $\frac{t}{t_1}$ dans la formule précédente, sont généralement supérieures à 1/5 et peuvent atteindre 1/2. La variation de la capacité avec la durée de la décharge est donc, comme nous le disions, moins rapide pour l'accumulateur B. G. S. que pour la plupart des accumulateurs d'usage courant, ce qui est un avantage incontestable en traction où les régimes de décharge sont très variables.

Les diverses données relatives aux poids, dimensions, capacités, etc. des accumulateurs des différents types, sont indiquées dans le tableau suivant :

TYPES		V_{11}	V_{13}	V_{15}	V_{17}	V_{19}
Nombre de plaques		11	13	15	17	19
Récipient	longueur . . . mm.	265	265	265	265	265
	largeur . . . —	79	93	107	121	135
	hauteur . . . —	110	110	110	110	110
Poids total de l'élément . . . kg.		5,890	6,950	8,050	9,100	10,180
— des électrodes . . . —		4,050	4,800	5,525	6,280	7,020
— d'une batterie de 44 éléments . . . —		258	306	353	400	448
Capacité en ampères-heure au régime de décharge en 5 h. 9 m.		83,5	99,1	114	129.6	150
Capacité par kilogramme de plaques		20,65	20,65	20,65	20,65	20,65
Courant normal en ampères par élément		16,4	19,2	22,2	25,1	28
Puissance normale en watts par élément		32	37,5	43,3	49	54,6
— — par batterie de 44 éléments		1 408	1 650	1 905	2 156	2 402
Énergie en watts-heure par élément		164,8	192,1	223	250,1	281,2
— par batterie de 44 éléments		7 251	8 452	9 812	11 004	12 370

Le voltage moyen pour la décharge complète est de 1,95 volts.

On voit par ce tableau que pour le régime de décharge en 5 heures environ, la capacité dépasse 20 ampères-heure par kilogramme de plaques. C'est une capacité considérable qui permet, pour le régime normal de décharge pour le service des automobiles, en 6 heures environ, d'obtenir le cheval-heure avec un poids d'accumulateurs du type V_{15} de 25 kgr environ.

Ajoutons que la Société B. G. S. termine actuellement la fabrication d'un deuxième type d'éléments à volume plus réduit. Les capacités de ce nouvel élément, rapportées au kilogramme de plaques, sont les suivantes :

CAPACITÉ par kg de plaque.	DURÉE de la décharge.	DÉBIT par kg de plaque.
28.7 amp.-h.	19 h.	1.5 amp.
26.8 »	13 h. 30 m.	2
24.3 »	8 h.	3
22.7 »	6 h. 45 m.	4
21.4 »	4 h. 15 m.	5

II. Accumulateurs Blot-Fulmen

Dans ces accumulateurs, mis récemment sur le marché, les plaques positives sont du

système Blot, les négatives du système Fulmen.

Les accumulateurs Blot sont bien connus des lecteurs de ce journal, tant par la description détaillée qui en a été donnée, que par les résultats d'essais qui ont été publiés (¹). On sait que ces plaques (fig. 3) sont constituées

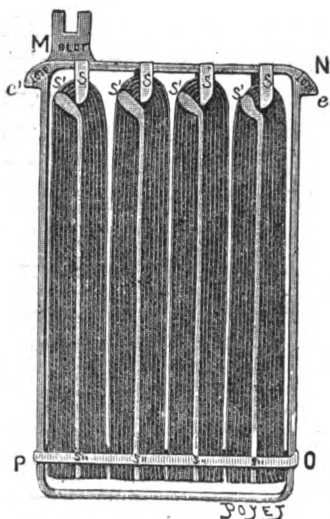


Fig. 3. — Plaque d'accumulateur Blot.

par un cadre en plomb dur MNPQ, dans lequel on juxtapose plusieurs « navettes » S' obtenues en enroulant sur une âme en plomb deux rubans de plomb mince, l'un gaufré, l'autre gaufré et strié à la fois. Ces plaques sont formées suivant le mode de Planté.

Dans les accumulateurs Fulmen pour traction, les cadres sont formés par deux grillages en plomb antimoiné à mailles rectangulaires dont les barreaux sont à section triangulaire ; les deux grillages sont assemblés de manière à obtenir des alvéoles à section en queue d'aronde dans lesquels est logée la matière active.

Les bacs des accumulateurs Blot-Fulmen sont en ébonite ; leur épaisseur est de 3,5 mm sur les parois et de 4 mm au fond ; ils sont munis de saillies de 3 mm sur les deux faces adjacentes. Les plaques reposent sur des tasseaux de 20 mm de hauteur ; elles sont séparées entre elles par des feuilles d'ébonite ondulées et perforées. Le liquide dépasse le niveau des plaques de 5 mm. Les connexions sont en plomb antimoiné de 8 × 8 mm².

Les dimensions, poids et données électriques de ces accumulateurs sont indiqués dans le tableau suivant où n désigne le nombre de plaques d'un élément :

Accumulateurs Blot-Fulmen.

Epaisseur des plaques positives		8 mm
» » négatives		4 »
Poids des plaques positives		1,120 kg
» » négatives		0,600 »
Espace entre les plaques		5 mm
Capacité		$12n - 12$ amp.-h.
Longueur	intérieure du bac	129 mm
	extérieure »	136 »
	avec saillies	139 »
Largeur	intérieure du bac	$11n - 3$ »
	extérieure	$11n + 4$ »
	avec saillies	$11n + 7$ »
Hauteur	intérieure du bac	256 »
	extérieure	260 »
	avec saillies	280 »
Poids des plaques positives		$0,560n - 0,560$ kg
» » négatives		$0,300n + 0,300$ »
» de l'acide		$0,275n + 0,200$ »
» du bac		$0,050n + 0,450$ »
» des accessoires		$0,031n + 0,000$ »
» total		$1,230n + 0,400$ »

III. Accumulateurs Osburn

Ces accumulateurs sont employés par la American Electric Vehicle Company, de Chicago, dont M. H.-G. Osburn est ingénieur.

Le grillage des plaques est constitué par une mince feuille de plomb laminé dans laquelle sont percés à l'emporte-pièce, des trous de forme carrée et de petites dimensions. On fait ensuite des coupures suivant les diagonales des carrés aux angles de ces trous et l'on plie les bords de ces ouvertures, de manière à les amener perpendiculairement

(¹) Voir particulièrement : Communication de M. Margaine au Congrès de Bordeaux de l'Association française pour l'avancement des sciences, t. IV, p. 290 et 432, 1895. — Communication de M. d'Arsonval à la Société de Physique et à la Société internationale des électriciens, t. VI, p. 36 et 133, 1896. — Rapport de M. Picou sur des essais de charge rapide d'accumulateurs Blot, t. XI, p. 445, 1897.

au plan de la plaque et à constituer ainsi des alvéoles. La pâte est formée par un mélange de poudre de plomb et d'oxyde de plomb.

Les batteries comportent 42 éléments qui, au début, ont une force électromotrice totale de 92,5 volts, soit 2,2 volts par élément; cette force électromotrice est encore de 80 à 86 volts au bout de 3 heures de décharge, soit un peu plus de 2 volts par élément. La capacité d'une batterie est de 90 ampères-heure pour une décharge en 5 heures et de 100 ampères-heure pour une décharge en 10 heures.

Le tableau suivant fournit quelques données sur les éléments de ces batteries :

Accumulateurs Osburn.

Nombre de plaques positives.	9
» » négatives	10
Largeur des plaques	76 mm
Hauteur »	197 »
Longueur des bacs	132 »
Poids d'un élément, sans le liquide . .	5,660 kg
» » avec le liquide. . .	6,800 »
Poids total d'une batterie	300 kg
Capacité pour une décharge en 5 h. . .	90 amp.-h.
Capacité par kg d'élément	13,2 »

D'après *The Electrical World* du 24 juin, auquel nous empruntons ces renseignements, ces accumulateurs peuvent rester en service sur une voiture pendant un an et demi à deux ans sans entretien important; au bout de ce temps il y a lieu de renouveler les plaques positives. Il est vrai que notre confrère ne nous dit pas si la voiture sort souvent ou reste presque toujours à la remise ; mais comme généralement une voiture est faite pour rouler cette longévité des accumulateurs Osburn paraîtra sans aucun doute extraordinaire, aussi laissons-nous à M. S.-S. Sherman, l'auteur de l'article publié par *The Electrical World*, l'entière responsabilité de ses assertions.

(*A suivre.*)

J. Reyval.

SUR LA PILE ÉTALON AU CADMIUM

La variation considérable qu'éprouve la force électromotrice d'un étalon Latimer Clark lorsque la température varie, et surtout les grandes difficultés que l'on rencontre dans la détermination exacte de la température interne d'une pile, ont fait depuis longtemps rechercher des combinaisons voltaïques qui, tout en présentant les mêmes garanties de comparabilité et de constance que l'étalon Clark, aient un coefficient de température plus faible.

Parmi les nombreux éléments qui ont été proposés, à la suite de ces recherches, comme étalons de force électromotrice, l'un de ceux qui paraissent le mieux remplir les diverses conditions auxquelles doit satisfaire un bon étalon de ce genre est l'élément au cadmium. Cet élément ne diffère de l'élément Latimer Clark que par le remplacement du zinc et du sulfate de zinc entrant dans la construction de celui-ci par un amalgame de cadmium et par du sulfate de cadmium; l'électrode positive est toujours du mercure en contact avec du sulfate mercureux; sa constitution est donc



$$Hg - Hg^2 SO^4 - Cd SO^4 - Cd^n, Hg^m,$$

les valeurs de n et de m pouvant varier entre certaines limites.

L'élément au cadmium a été employé dès 1884 par M. Czapski qui observa son faible coefficient de température [1]. Toutefois ce n'est que plus tard que l'attention fut attirée sur ce point par M. Weston, de Newark, d'où le nom d'élément Weston qui est donné quelquefois à l'élément au cadmium. Des essais furent alors entrepris à la Reichsanstalt, sous la direction du professeur W. Jaeger,

[1] *Wied. Ann.*, t. XXI, p. 286, 1884.

et dans le rapport des travaux de cette institution pendant l'année 1894 l'élément au cadmium est mentionné comme paraissant constituer un excellent étalon de force électromotrice (1).

Depuis cette époque l'élément au cadmium a été l'objet d'essais méthodiques à la Reichsanstalt; d'autres essais ont été également faits en Angleterre et aux États-Unis. Les résultats de ces recherches ont été, pour la plupart du moins, publiés dans ce journal (2). Nous profiterons de la publication d'un récent travail de M. Henderson que l'on trouvera plus loin (voir p. 105), pour rappeler les résultats acquis.

I. Construction de l'élément. — Les instructions pour la confection des éléments étalons au cadmium ont été rédigées par le professeur Jaeger (3), en suivant d'ailleurs les instructions publiées antérieurement par le Dr Kahle pour la construction de l'élément Clark.

Dans ces instructions M. Jaeger recommande l'emploi d'un vase en forme de H. Au fond de chacune des branches est soudé un fil de platine. Dans l'une d'elles on place des morceaux de l'amalgame solide 1 Cd + 6 Hg; on fait fondre au bain de sable cet amalgame, on le laisse refroidir et au-dessus de lui on met des cristaux de sulfate de cadmium. Dans l'autre branche on verse du mercure et, au-dessus, une pâte formée de sulfate mercureux trituré avec du mercure métallique. On achève de remplir les deux branches avec une solution saturée de sulfate de cadmium. On ferme chaque branche par une couche de paraffine coulée à la surface du liquide, puis par une rondelle mince de liège et enfin par une couche de cire.

Lorsqu'on veut un modèle portatif on supprime la solution de sulfate de cadmium et l'on remplit alors les deux branches, d'une part avec des cristaux de sulfate de cadmium, d'autre part avec la pâte de sulfate mercureux et de mercure. En outre, au lieu d'employer du mercure entourant un fil de platine comme électrode et pôle positifs de l'élément, on prend simplement un fil de platine amalgamé, ce fil étant contourné en spirale ou connecté à une lame de platine amalgamé en vue d'augmenter la surface de contact avec la pâte.

L'amalgame de cadmium s'obtient facilement en chauffant du cadmium et du mercure; le cadmium du commerce est, en général, suffisamment pur pour pouvoir être employé sans purification.

Le sulfate de cadmium du commerce a besoin d'être neutralisé; on fait digérer sa solution avec de l'oxyde de cadmium hydraté obtenu par l'action de la soude caustique sur du sulfate de cadmium dissous et lavage très soigné du précipité. Comme la solution devient souvent ainsi un peu basique et décomposerait le sulfate mercureux, on la fait digérer avec ce sel avant emploi jusqu'à ce qu'il n'y ait plus décomposition. Pour effectuer la dissolution des cristaux de sulfate il importe de ne pas chauffer au-dessus de 70° car au-dessus de cette température le sel $CdSO^4 + 8/3\,H^2O$ se transforme en $CdSO^4 + H^2O$. Comme d'ailleurs la solubilité varie peu avec la température et qu'il est nécessaire d'avoir une solution saturée pour la construction des éléments, il convient de laisser longtemps la solution en présence d'un excès de cristaux avant de s'en servir.

Le sulfate mercureux doit être purifié comme lorsqu'il s'agit de construire un élément Clark; généralement il suffit de triturer le sel avec du mercure pour le débarrasser de l'acide libre qu'il contient.

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XVI, p. 733, 14 novembre 1895.

(2) W. Jaeger et R. Wachsmuth. Pile-étalon au cadmium, t. XI, p. 88, 3 avril 1897. — W. Jaeger. Pile-étalon au cadmium de la Reichsanstalt, t. XIV, p. 31, 1er janvier 1898. — W. Jaeger. Forces électromotrices des éléments à amalgame de cadmium, t. XVI, p. 306, 13 août 1898. — Ph. Kohnstamm et E. Cohen. Pile-étalon au cadmium de Weston, t. XVII, p. 442 et 538, 10 et 24 décembre 1898. — W. Jaeger et K. Kahle. Étalons de force électromotrice mercure-zinc et mercure-cadmium, t. XIX, p. 466, 24 juin 1898.

(3) *L'Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 31, 1er janvier 1898.

Ces instructions découlent des résultats des recherches faites par MM. W. Jaeger et R. Wachsmuth [1]. Elles préconisent l'emploi d'un récipient en forme de H qui, suivant les physiciens allemands, permet d'obtenir des éléments ayant même force électromotrice plus facilement que l'emploi d'un récipient unique et cylindrique. Les expériences de M. Henderson (voir plus loin, p. 105) faites sur des éléments ayant cette dernière forme indiquent cependant que la reproduction d'éléments de ce genre de même force électromotrice ne présente pas de difficultés sérieuses.

La forme cylindrique paraît d'ailleurs offrir quelques avantages lorsque l'élément doit être employé en circuit fermé. Il résulte en effet d'expériences de Klemencic, faites il est vrai sur des éléments Latimer Clark mais dont les résultats paraissent devoir s'appliquer aux éléments au cadmium, que la résistance des éléments cylindriques est au moins 100 fois plus faible que celle des éléments en H [2], ce qui est avantageux dans certaines mesures, comme par exemple dans l'étalonnage d'un galvanomètre, car on peut alors négliger la résistance de l'élément vis-à-vis de la résistance placée en série avec lui [3]. D'autre part, il résulte des expériences de M. Henderson citées plus loin que les éléments cylindriques qu'il a essayés recouvrent assez rapidement leur force électromotrice normale après qu'ils ont été polarisés soit par leur mise en court-circuit soit par le passage d'un courant fourni par une source de force électromotrice plus élevée mise en opposition avec eux.

Pour ces diverses raisons il ne semble donc pas qu'il y ait lieu de préférer plutôt la forme en H que la forme cylindrique.

Quant aux autres prescriptions de M. Jaeger, elles sont au contraire en parfait accord avec les résultats obtenus par les divers expérimentateurs qui ont étudié l'élément au cadmium. Tout au plus y aurait-il lieu de faire remarquer que d'après les essais de M. Henderson il n'est pas indispensable de neutraliser la légère acidité du sulfate de cadmium du commerce.

II. Force électromotrice de l'élément. a) *Sa valeur*. — La force électromotrice de l'élément au cadmium a été déterminée en valeur absolue par Kahle, au moyen de l'électrodynamomètre de Helmholtz [1]. Cet expérimentateur a trouvé 1,0184 volt international à la température de 20°. Cette mesure a été reprise par S. N. Taylor [2] qui a déterminé la valeur de la force électromotrice d'un élément Latimer Clark au moyen d'un électrodynamomètre et a ensuite comparé cette force électromotrice à celle d'un élément au cadmium; mais les mesures absolues paraissent, de l'avis de l'auteur lui-même, entachées d'erreurs. Enfin Henderson a trouvé 1,0190 volt à 21°,5 C en compensant la force électromotrice d'un étalon au cadmium par la chute de potentiel produite par le passage dans une résistance étalonnée d'un courant mesuré au moyen d'une balance de Lord Kelvin.

En comparant la force électromotrice de l'étalon au cadmium à celle d'un étalon Clark

(1) *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 575-592; 1896. — *Écl. Élect.*, t. XI, p. 88, 3 avril 1897.

(2) *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 917-920; 1898. — *Écl. Élect.*, t. XVII, p. 538, 24 déc. 1898.

(3) On pourrait croire qu'il serait possible d'employer dans ce cas un élément de grande résistance en tenant compte de cette résistance dans le calcul. Mais en réalité la résistance des éléments contenant des cristaux est, ainsi que l'ont montré les mesures de M. Cohen (*Zeits. f. physik. Chemie*, t. XXVIII, p. 723-739; 1899. — *Écl. Élect.*, t. XIX, p. 463, 24 juin 1899), une quantité trop variable pour qu'on puisse la faire intervenir dans le calcul; à une même température elle peut en effet prendre des valeurs différant du simple au triple suivant l'état d'agglomération et la position relative des cristaux. D'un autre côté la force électromotrice d'un élément au cadmium sans cristaux est mal déterminée, comme l'ont reconnu, d'une part, MM. Jaeger et Wachsmuth (*Écl. Élect.*, t. XI, p. 88) qui ont constaté qu'il est indispensable que la solution de sulfate de cadmium soit saturée, d'autre part, M. Henderson (voir plus loin, p. 105) qui n'a pu obtenir de mesures de force électromotrice concordantes en opérant sur des éléments en H sans cristaux.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 82, 3 avril 1897.

(2) *Physical Review*, t. VII, p. 149-170; 1898.

et en admettant 1,433 volt pour cette dernière à 15° C, Jaeger et Wachsmuth (1) ont trouvé 1,1090 volt international pour la force électromotrice de l'étalon au cadmium à 20°C. S. N. Taylor a trouvé 1,4077 pour le rapport de la force électromotrice d'un étalon Clark à 15° et d'un étalon au cadmium à 21°,7; ce nombre correspond, si l'on adopte 1,433 volt pour la force électromotrice de l'étalon Clark à 15° et si l'on calcule la variation de la force électromotrice de l'étalon au cadmium avec la température à l'aide de la formule donnée plus loin, à une valeur de cette force électromotrice à 20° supérieure de quelques dix millièmes de volt à celle trouvée antérieurement par Jaeger et Wachsmuth.

Ce résultat est en contradiction avec celui de mesures plus récentes de Jaeger et Kahle, qui ont trouvé 1,0186 volt international pour la force électromotrice de l'étalon au cadmium à 20° (2). Le défaut de précision des mesures absolues de Taylor permet de douter de l'exactitude de ses mesures comparatives et si l'on tient compte de la concordance des nombreuses mesures de Jaeger, Wachsmuth et Kahle il semble que le nombre 1,0186 volt international doit être accepté.

b. *Influence de la température.* — Elle a été étudiée principalement par Jaeger et Wachsmuth et par Jaeger et Kahle. Dans leur mémoire de 1896 les deux premiers donnaient la formule

$$E_t = E_{20} - 38 \times 10^5 (t - 20) - 0,065 \times 10^5 (t - 20)^2$$

comme représentant les résultats de leurs mesures entre 0 et 25°; les mesures ultérieures de Jaeger et Kahle ont confirmé cette formule.

Les mesures de Henderson montrent que le coefficient de température dépend un peu du degré de pureté des sels employés; il peut varier entre 2×10^{-5} et 9×10^{-5} lorsqu'on prend des sels du commerce; il reste compris entre 2×10^{-5} et 4×10^{-5} si l'on fait usage de sels spécialement purifiés. Elles montrent aussi que la force électromotrice ne prend sa valeur normale à une certaine température que quand l'élément a été maintenu assez longtemps à cette température.

MM. Kohnstamm et Cohen ont fait observer que pour les températures inférieures à 15° le calcul de la force électromotrice au moyen de cette formule où l'on fait $E_{20} = 1,0190$ conduit à une valeur inférieure à la valeur expérimentale de 1 millième de volt environ. Ils ont attribué cet écart à une modification moléculaire du sulfate de cadmium ($CdSO^4$, 8/3 H^2O) vers la température de 15°, la solubilité de ce sel présentant une variation brusque précisément à cette température (1).

L'ensemble de ces résultats montrent: que le coefficient de température de l'étalon au cadmium est de l'ordre de quelques cent millièmes (environ 30 fois plus faible que celui de l'étalon Clark qui dépasse un peu 1 millième); qu'il est utile de prendre des sels purs dans la construction de cet étalon dans le but de réduire la valeur de ce coefficient; qu'enfin il est nécessaire d'opérer à une température supérieure à 15° si l'on veut appliquer la formule de Jaeger et Wachsmuth.

c. *Influence de la composition de l'amalgame.* — Jaeger a constaté (2) que la différence de potentiel au contact de deux amalgames de cadmium de compositions différentes n'est que de un cent millième de volt lorsque les teneurs en cadmium sont comprises entre 5 et 15 pour 100. Dans des essais antérieurs il avait en outre constaté que des étalons construits avec divers amalgames contenant des quantités de cadmium comprises entre ces limites ont pratiquement

(1) *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 575-592; 1896. — *Écl. Élect.*, t. XI, p. 88, 3 avril 1897.

(2) *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 926-942, 1898. — *Écl. Élect.*, t. XIX, p. 466, 24 juin 1899.

(1) Communication faite à la Société Allemande d'Électrochimie, et Mémoire des *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 344-357. — *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 442 et 538, décembre 1898.

(2) *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 106-110; 1898. — *Écl. Élect.*, t. XVI, p. 306, 13 août 1898.

la même force électromotrice. Au contraire, quand la proportion de cadmium dépasse 15 p. 100, la force électromotrice varie sensiblement avec cette proportion. L'amalgame 1 Cd + 6 Hg dont l'emploi est recommandé dans les prescriptions de Jaeger contient moins de 15 p. 100 de cadmium ; une légère modification des proportions de cadmium et de mercure ne peut donc avoir d'influence sensible sur la force électromotrice ; il vaut mieux d'ailleurs diminuer la proportion de cadmium que l'augmenter.

Jaeger a également reconnu qu'on ne pourrait remplacer l'amalgame par un bâton de cadmium amalgamé, car le cadmium amalgamé, qui au début se comporte comme les amalgames de 5 à 15 p. 100, donne lieu au bout de quelque temps à une variation brusque de la force électromotrice de l'élément.

d. *Influence des impuretés.* — Le zinc qui se trouve en petite quantité dans le cadmium du commerce n'a pas d'action, d'après Jaeger et Wachsmuth, sur la force électromotrice.

La légère acidité du sulfate de cadmium du commerce a pour effet, d'après les mêmes auteurs, d'augmenter la force électromotrice de l'élément de quelques dix millièmes de volts. L'acidité du sulfate mercureux a également une influence. On a vu dans les instructions concernant la construction des étalons, comment on neutralise ces sels.

e. *Influence du temps et des trépidations.* — En quatre ans les éléments de la Reichsanstalt n'ont présenté que des variations insignifiantes, de moins de un dix-millième de volt. Un élément portatif (sans solution de sulfate de cadmium) a repris, après un voyage de 600 km, sa force électromotrice primitive à quelques cent-millièmes de volt près.

L'élément au cadmium présente donc au moins autant de garantie que l'élément Clark au point de vue de la comparabilité des éléments entre eux et de la constance de la force électro-motrice. Comme il possède sur ce dernier élément l'avantage d'avoir un moindre coefficient de température, il est à présumer que son emploi ne tardera pas à se développer. C'est cette considération qui nous a amené à lui consacrer ces quelques pages.

J. B.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Boîte de jonction de sécurité pour canalisations à haute tension, système Wordingham [1].

Pour éviter tout accident lors de l'ouverture des boîtes de jonction même si, par erreur ou inadvertance, le courant continue à circuler dans la canalisation, l'auteur a imaginé un dispositif qui, par le fait même de l'ouverture, met les câbles en court circuit et en communication avec la terre.

Les figures 1 à 3 donnent une section longitudinale, une section transversale et une vue en plan d'une boîte pour câbles à deux conducteurs concentriques.

La boîte H en fonte est en communication avec la terre ; il en est de même de son couvercle H' qui est relié à la boîte par les boulons Y. Le conducteur extérieur B du câble A est soudé à un cylindre métallique C entourant l'isolant D du conducteur central E, lequel est soudé à une pièce métallique conique F. Sur le cylindre C, séparé de la boîte par une douille K en matière isolante, est vissé un disque L auquel sont fixés une borne X et un plot de contact en charbon R. La pièce métallique conique F est fortement serrée par l'écrou J contre la pièce O fixée en P sur le

[1] Brevet anglais n° 6834, déposé le 21 mars 1898, accepté le 21 mars 1899.

manchon isolant M et portant une borne W et un plot de contact en charbon R′. Un troisième plot de contact R″ est fixé au support Q vissé sur la boîte et par suite en communica-

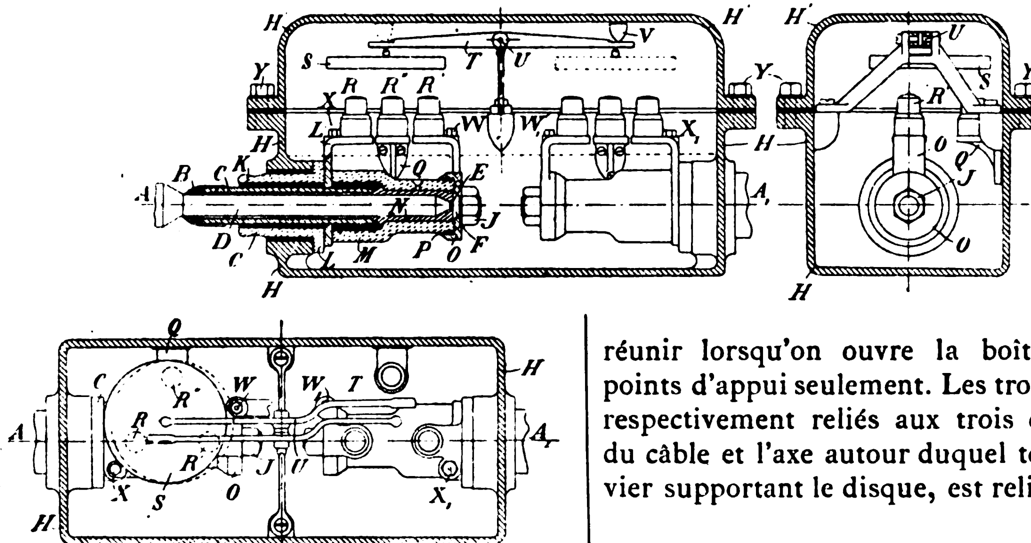


Fig. 1 à 3. — Boîte de jonction Wordingham pour canalisations à haute tension. — Coupes longitudinale et transversale par un plan vertical et coupe longitudinale par un plan horizontal.

tion avec le sol. Au-dessus de ces trois plots est un disque de charbon S suspendu à une extrémité d'un levier T pivoté en U et dont l'autre extrémité est pressée par le bouton V du couvercle.

Les mêmes dispositifs se retrouvent à l'extrémité du second câble A_1 aboutissant à la boîte. La jonction des deux câbles s'effectue au moyen des bornes X et X_1 d'une part, W et W_1 d'autre part.

On voit que lorsqu'on soulève le couvercle H′ de la boîte de jonction, le disque S s'abaisse, le bouton V ne maintenant plus le levier H dans la position horizontale; par suite les plots R, R′, R″ se trouvent mis en communication et chacun des conducteurs du câble A est ainsi relié à la terre. Les dispositifs placés dans la partie droite de la boîte, agissent de la même façon pour le câble A_1.

Dans son brevet, l'inventeur donne en outre la description d'une boîte de jonction pour câbles à trois conducteurs. Comme dans la précédente, il n'y a que trois plots de contact afin que le disque de charbon qui doit les réunir lorsqu'on ouvre la boîte, ait trois points d'appui seulement. Les trois plots sont respectivement reliés aux trois conducteurs du câble et l'axe autour duquel tourne le levier supportant le disque, est relié à la terre.

J. R.

Sur l'équation du mouvement des automobiles;

Par A. Petot [1].

Dans une note récente à l'Académie des sciences, signalée dans le numéro du 8 juillet de ce journal (p. 17), l'auteur établissait les inégalités donnant l'effort moteur à la jante d'une roue d'automobile ainsi que celles qui permettent de déterminer la valeur maximum de l'effort exercé à la barre d'attelage d'un tracteur. Dans celle-ci, M. Petot répond aux observations faites par M. Blondel à ce propos : « M. A. Blondel a fait remarquer qu'une de mes formules était comprise, comme cas particulier, dans la suivante

$$(P+Q)\left(l+c+\frac{1}{g}\frac{dV}{dt}\right)+P''\rho'+Q\rho+Z\leq P'a,$$

qu'il avait antérieurement établie, dans son ouvrage sur la *Traction électrique*. La conclusion de sa note est qu'une seule de mes formules, celle qui porte le n° 8, présente un caractère de nouveauté.

» Tout d'abord, pour répondre à cette der-

(1) *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1556, séance du 26 juin 1899.

nière assertion, il me suffira de placer une autre de mes équations, celle-ci par exemple,

$$\Phi = TR + N\delta + \mathfrak{N}\mathfrak{G}r \sin \varphi + I \frac{\gamma}{R},$$

en regard de la suivante

$$F = T + Pr',$$

qui lui correspond dans l'ouvrage de M. Blondel (2e vol., p. 489). Cette dernière s'écrirait avec mes notations

$$\Phi = TR + \mathfrak{N}\mathfrak{G}r \sin \varphi,$$

et l'on voit qu'elle ne tient compte ni de la résistance propre au roulement, ni de l'inertie de rotation de la roue. M. Blondel indique, il est vrai, une correction qu'il a faite en ce qui concerne l'inertie (p. 518) ; mais cette correction porte seulement sur le calcul de la force vive totale du véhicule et non sur la seule chose qui nous intéresse ici, à savoir l'influence de l'inertie d'une roue sur l'utilisation de l'adhérence de cette roue.

» En ce qui concerne la formule de M. Blondel, je dois reconnaître qu'elle donne effectivement la mienne, sauf le changement de notations, quand on y supprime les termes i, c et $P''\rho'$; mais on me permettra de montrer qu'elle est seulement exacte dans le cas particulier où je me suis tout exprès placé, et que l'on s'exposerait à de graves erreurs si, la considérant comme une équation générale du mouvement des automobiles, on voulait en déduire les conditions de stabilité des véhicules en marche.

» Les charges P' et P'' des divers essieux sont, en effet, essentiellement variables avec les conditions mêmes du mouvement, c'est-à-dire, en particulier, avec les valeurs de i, c et $\frac{dv}{dt}$. Si donc on déduit de la formule précédente, comme le fait M. Blondel dans son ouvrage (p. 490 et suivantes), les valeurs maxima de i et de $\frac{dv}{dt}$, dans certains cas déterminés, le résultat obtenu ne peut être qu'approché, puisque l'on attribue à P' et P'', au lieu de leurs valeurs réelles, des valeurs moyennes estimées un peu au hasard. J'ai fait voir à ce propos que toute la charge peut même se reporter sur un seul essieu, et que c'est là une des causes fréquentes d'accidents d'automobiles; on en trouvera un exemple des plus concluants dans la *Locomotion automobile* du 25 mai dernier (p. 334).

» D'autre part, si l'on désigne par ω la vitesse angulaire d'une roue, on sait que le patinage se produit quand la vitesse linéaire ωR à la jante est différente de la vitesse d'entraînement v. On doit donc, quand on étudie l'influence des courbes sur l'adhérence, considérer deux cas, suivant que cette vitesse v est supérieure ou inférieure à la première ωR.

» Dans le premier, le glissement a lieu dans le sens même de la locomotion, et il en résulte que la force de frottement sert seulement à accélérer le mouvement de rotation, de manière à rétablir l'égalité entre v et ωR. La roue considérée se comporte donc momentanément comme si elle était traînée et non motrice, et le poids moteur se trouve ainsi diminué de toute l'adhérence de cette roue.

» Dans le second, au contraire, toute l'adhérence de la roue est utilisée, parce que le glissement relatif a lieu en sens inverse du mouvement de locomotion ; et il y a seulement peut-être une légère modification dans la valeur du coefficient d'adhérence.

» Cela montre bien que, dans la formule de M. Blondel, le terme $(P + Q)\ c$ ne peut pas suffire en général pour marquer l'effet si complexe des courbes. D'ailleurs, dans la traction sur routes, l'influence des courbes se manifeste surtout par la force centrifuge, souvent considérable, qui en résulte. Cette force se partage à peu près entre les deux essieux en raison inverse de leurs distances au centre de gravité du véhicule, c'est-à-dire d'après une loi indépendante des conditions du mouvement. L'adhérence transversale varie, au contraire, avec ces mêmes conditions, car elle dépend pour chaque roue de la charge supportée momentanément par cette roue. Il y a là une nouvelle cause d'accidents : le véhicule n'est plus seulement exposé à basculer,

mais encore à déraper. J'indiquerai ici l'un des résultats que j'ai obtenus dans cet ordre d'idées :

» Les couples qui, sous l'action d'une cause déterminée, font déraper ou basculer les véhicules vont d'ordinaire en augmentant jusqu'à l'instant où les roues commencent à patiner. Ils décroissent ensuite, si du moins il n'intervient aucune cause nouvelle agissant dans le même sens que la première.

» On voit ici combien il est nécessaire de préciser nettement le rôle de l'adhérence, dans les cas exceptionnels où les accidents peuvent se produire. Si, en effet, quand des circonstances dangereuses se présentent, la stabilité est encore assurée à l'instant où le patinage se produit, elle le sera définitivement. Peut-être donc pourra-t-on éviter un certain nombre d'accidents en faisant ainsi jouer au patinage un rôle de sauvegarde. »

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Pile-étalon au cadmium;

Par John Henderson [1].

Dans ce mémoire l'auteur décrit les expériences qu'il a faites en vue d'éclaircir certains points importants relatifs à l'emploi de la pile au cadmium comme étalon de force électromotrice. Les points qu'il a particulièrement étudiés sont les suivants :

1° Quelle confiance on peut avoir dans les piles au cadmium construites avec des produits chimiques ordinaires, vendus comme purs mais non purifiés spécialement.

2° Déterminer l'effet produit en remplaçant dans la construction de la pile une solution saturée de sulfate de cadmium par des cristaux humides du même sel.

3° Rechercher l'effet résultant sur la force électromotrice de l'emploi de sels acides au lieu de sels neutres.

4° Mesurer le coefficient de température.

5° Déterminer le temps que met un élément à prendre sa force électromotrice normale à une certaine température lorsque cet élément est amené brusquement à cette température.

6° Etudier la rapidité avec laquelle l'élément perd sa polarisation.

A cause du grand coefficient de température de l'étalon Clark et de l'incertitude où l'on est sur la valeur exacte de sa force électromotrice, l'auteur n'a pas fait usage de cet étalon dans ses mesures; il a préféré comparer différents éléments avec un certain élément au cadmium que des expériences préliminaires avaient montré avoir une force électromotrice constante. Cet élément de comparaison a toujours été maintenu à la même température; sa force électromotrice a été déterminée en la compensant par la chute de potentiel produite par le passage dans une résistance étalonnée d'un courant mesuré avec une très grande précision au moyen d'une balance de Kelvin; dans cette détermination on employait un potentiomètre à fil de manganine spécialement construit pour cet usage et soigneusement calibré avant les expériences. On a trouvé ainsi 1,0190 volt pour la température de 21°,5 C.

Trois séries d'éléments ont été successivement étudiées. Ceux des séries I et II étaient des éléments à cristaux; dans ceux de la série III les cristaux étaient remplacés par une solution de sulfate de cadmium.

Les éléments de cette dernière série étaient en forme de H. Ceux des deux premières séries étaient cylindriques et construits comme il suit : Dans un large tube à essai on mettait du mercure, au dessus de celui-ci une pâte contenant du sulfate de mercure, puis une cou-

[1] *Philosophical Magazine*, t. XLVIII, p. 152-156, juillet 1899.

che de cristaux humides de sulfate de cadmium et enfin une couche d'amalgame de cadmium. Le tube était fermé par un bouchon de paraffine. A travers ce bouchon passaient deux tubes de verre à la partie inférieure desquels étaient soudés deux fils de platine; l'un des fils plongeait dans le mercure, l'autre dans l'amalgame de cadmium. Des fils de cuivre soudés aux fils de platine servaient de pôles.

Les résultats des mesures faites sur les éléments de la série III furent extrêmement peu satisfaisants; dans une expérience on trouva une différence de force électromotrice de plus de 0,27 p. 100 entre deux éléments de cette série maintenus à la même température.

Les éléments de la série I étaient au nombre de six. Les produits employés pour leur confection, achetés comme purs, ne subirent aucune purification spéciale; un essai montra qu'ils étaient fortement acides. La pâte était formée d'un mélange de sulfate de cadmium, de sulfate de mercure, d'eau distillée et de mercure; l'amalgame de cadmium contenait 6 parties en poids de mercure et 1 partie de cadmium.

Les éléments de la série II étaient aussi au nombre de six. Les produits chimiques employés, livrés par MM. Kahlbaum, de Berlin, avaient été spécialement purifiés; leur essai montra qu'ils étaient absolument neutres. La composition de la pâte et de l'amalgame était la même que pour les éléments de la série I.

Dans un des éléments de chacune de ces deux séries, on acidifia la pâte en prenant, au lieu d'eau distillée, de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, dans le but d'examiner l'effet d'un excès d'acide.

Les résultats de plus de 200 mesures de force électromotrice sont résumés dans le tableau suivant; toutefois, les nombres qui s'y trouvent ne comprennent pas les résultats donnés par les éléments acidifiés à dessein.

Ces derniers éléments ont donné des valeurs de la force électromotrice un peu plus élevées, qui d'ailleurs ne concordaient pas les unes avec les autres.

	SÉRIE I			SÉRIE II	
	10°-15° C.	15°-20° C.	20°-30° C.	10°-15° C.	15°-20° C.
Force électromotrice en volts	1,0186	1,0187	1,0180	1,0188	1,0187
Différence maximum entre la f. é. m. moyenne et la f. é. m. d'un élément	0,0002	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001

Les résultats des mesures faites sur les 5 autres éléments des deux séries sont au contraire très concordants. On voit de plus par la comparaison des chiffres du tableau précédent rélatifs aux éléments de deux séries différentes que les forces électromotrices des uns et des autres ne diffèrent que d'une quantité négligeable en pratique, c'est-à-dire qu'il importe peu que les sels employés soient acides ou neutres, pourvu qu'on ne fasse pas à dessein une addition d'acide.

La détermination du coefficient de température, déduite des mesures de force électromotrice faite à des températures différentes, a donné les résultats suivants : ce coefficient est de 0,005 p. 100 par degré centigrade pour les éléments de la série I (à l'exception de l'élément acidifié), le maximum était de 0,009 p. 100 et le minimum 0,002 p. 100. Pour les éléments de la série II (exception toujours faite de l'élément acide) la valeur moyenne du coefficient est de 0,003 p. 100 par degré centigrade, la valeur maximum étant 0,004 p. 100 et la valeur minimum 0,002 p. 100. Pour les éléments acides ce coefficient était plus élevé : 0,007 p. 100 pour l'élément de la série I et 0,006 p. 100 pour l'élément acide de la série II.

Pour tous les éléments, l'expérience a montré l'existence d'un retard considérable entre la variation de la force électromotrice et la variation de température qui en est la

cause. Afin d'avoir quelque idée de la grandeur de ce retard, les éléments de chaque série furent maintenus pendant plusieurs heures à une température constante et placés ensuite dans un bain-marie à une température notablement plus haute ; on mesurait alors la force électromotrice à intervalles réguliers jusqu'à ce qu'elle devînt constante. Dans tous les cas, la force électromotrice subissait tout d'abord une chute brusque d'autant plus accusée que l'acidité de l'élément était plus grande ; cette chute était d'environ 0,2 p. 100 pour les piles de la série II quand la température variait brusquement de 16 à 30 degrés C. Après cette chute, la valeur de la force électromotrice s'élevait lentement et au bout de 2 heures environ devenait constante.

Au point de vue du recouvrement de la force électromotrice primitive après polarisation, les éléments essayés donnèrent toute satisfaction. Ainsi, on trouva qu'un élément connecté en série pendant 5 minutes avec une bobine de 1 000 ohms, reprenait complètement sa force électromotrice primitive 2 minutes après la rupture du circuit. Plusieurs éléments furent mis en court circuit par d'épais fils de cuivre, pendant 5 minutes. La force électromotrice reprit sa force électromotrice primitive 5 minutes après que les circuits furent rompus à moins de 0,4 p. 100 près et à moins de 0,2 p. 100, 10 minutes plus tard. Si l'on chargeait les éléments au moyen d'une force électromotrice dépassant la leur de 0,1 de volt pendant une minute, les éléments recouvraient leur force électromotrice primitive presque immédiatement.

De ces résultats, l'auteur conclut que la pile au cadmium remplit beaucoup mieux que la pile de Clark, les conditions exigées d'un étalon de force électromotrice : l'effet des impuretés ordinaires des produits chimiques est très petit, principalement celui de l'acidité des sels qui ne paraît qu'accroître très légèrement le coefficient de température. Il ne faudrait pas cependant soumettre les éléments au cadmium à des variations soudaines de température à cause du temps considérable qu'ils mettent à prendre leur force électromotrice normale. Quant au type d'éléments à employer, l'auteur considère l'élément à cristaux comme étant le plus satisfaisant, d'une part, à cause de la facilité de son transport, et d'autre part, parce que le liquide de ce genre d'élément est nécessairement saturé à toute température par suite de la présence d'un excès de cristaux de sulfate de cadmium.

J. B.

Relation entre l'électricité et la chaleur ; considérations thermodynamiques ;

Par W. Voigt (1).

En général, si on considère un élément de volume d'un corps dans lequel s'effectue une transformation thermoélectrique, on peut lui appliquer l'équation qui exprime le principe de la conservation de l'énergie sous la forme :

$$d\varepsilon = d'\alpha + d'\omega$$

$d\varepsilon$ étant l'accroissement de l'énergie par unité de volume qui correspond à un travail mécanique $d'\alpha$ et à une quantité de chaleur $d'\omega$ (mesurée en unités mécaniques) reçus par le corps. Mais $d\varepsilon$, $d'\alpha$, $d'\omega$ ne sont pas des différentielles totales, en général s'il s'agit d'un état stationnaire, $d\varepsilon$ est nul et on a :

$$0 = \frac{d'\alpha}{dt} = \frac{d'\omega}{dt} = \alpha' + \omega'.$$

Sous cette forme simple, l'équation n'est vérifiée qu'autant que la température est uniforme ; sinon il faut introduire un troisième terme dans l'équation et écrire :

$$0 = \alpha' + \omega' + \beta' \qquad (1)$$

$\beta' = \frac{d'\beta}{dt}$ représentant une autre forme d'énergie.

Supposons ensuite que ce phénomène stationnaire à l'époque t_0 se transforme en un

(1) *Wied. Ann.*, t. LXVII, p. 717-741, avril 1899. Cf. Riecke. *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 204, 290, 412, 452.

autre à l'époque t_1, il faudra pour que ce nouveau phénomène soit aussi stationnaire que :

$$\frac{(\delta'\alpha)_1 - (\delta'\alpha)_0}{dt} + \frac{(\delta'\beta)_1 - (\delta'\beta)_0}{dt} + \frac{(\delta'\omega)_1 - (\delta'\omega)_0}{dt} = 0. \quad (2)$$

Si le phénomène est *réversible* ou *à peu près réversible*, ω' sera lié à la température absolue T et à l'entropie η par unité de volume par la relation :

$$\omega' = T\frac{\partial\eta}{\partial t} \quad \text{d'où} \quad \delta'\omega = T\delta\eta \quad (3)$$

En outre si le second phénomène s'effectue à la même température que le premier, il viendra :

$$\frac{(\delta'\omega)_1 - (\delta'\omega)_0}{dt} = T\frac{\partial\delta\eta}{\partial t} = T\delta\left(\frac{\partial\eta}{\partial t}\right) \quad (4)$$

Dans la formule (2) nous avons supposé que l'unité de volume recevait sous une forme inconnue une quantité d'énergie $\beta' dt$ pendant le temps dt.

Attribuons l'indice o au commencement de cet intervalle, l'indice 1 à la fin, nous aurons

$$\frac{(\delta'\beta)_1 - (\delta'\beta)_0}{dt} = \delta\beta' \quad (5)$$

Admettons enfin que l'élément de volume soit traversé par un courant électrique i (u, v, w), et qu'une force électrique K (X, Y, Z), réversible avec le sens du phénomène calorifique agisse sur cet élément. Le travail α' de cette force pendant l'unité de temps sera :

$$\alpha' = Xu + Yv + Xw. \quad (6)$$

On aura donc

$$\frac{(\delta'\alpha)_1 - (\delta'\alpha)_0}{dt} = X\delta u + Y\delta v + Z\delta w \quad (7)$$

et par suite :

$$-\beta_1 = Xu + Yv + Zw + T\frac{\partial\eta}{\partial t} \quad (8)$$

$$-\delta\beta' = X\delta u + Y\delta v + Z\delta w + T\delta\frac{\partial\eta}{\partial t} \quad (9)$$

ou en posant, pour abréger :

$$\beta' + T\frac{\partial\eta}{\partial t} = -\xi' \quad (10)$$

$$\xi' = Xu + Yv + Zw \quad (11)$$

$$\delta\xi' = X\delta u + Y\delta v + Z\delta w - \frac{\partial\eta}{\partial t}\partial T \quad (12)$$

La fonction ξ' joue ici un rôle analogue à celui du potentiel thermodynamique dans les problèmes d'équilibre. En particulier, on a :

$$\frac{\partial\xi'}{\partial u} = X, \quad \frac{\partial\xi'}{\partial v} = Y, \quad \frac{\partial\xi'}{\partial w} = Z, \quad \frac{\partial\xi'}{\partial T} = -\frac{\partial\eta}{\partial t}. \quad (14)$$

Les définitions précédentes supposent que ξ', c'est-à-dire le phénomène caractérisé par cette fonction ne dépend que de u, v, w, T : or les phénomènes thermoélectriques dépendent aussi des chutes de température :

$$\frac{\partial T}{\partial x} = T_x, \quad \frac{\partial T}{\partial y} = T_y, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = T_z \quad (15)$$

les définitions ne s'appliquent donc pas immédiatement aux phénomènes thermoélectriques. Cependant, on peut, jusqu'à un certain point ramener ce cas plus complexe au premier.

Pour cela, on écrit l'expression complète de $\delta\xi'$ supposé fonction des sept variables u, v, w, T, T_x, T_y, T_z et on intègre pour un volume arbitraire k; puis on effectue l'intégration par parties sur les termes renfermant T_x, T_y, T_z. On obtient ainsi :

$$\int_k \delta' = \int_k \left(X\delta u + Y\delta v + Z\delta w - \frac{\partial\eta_v}{\partial t}\delta T\right) dk - \int_k \frac{\partial\eta_s}{\partial t}\delta T dS \quad (16)$$

la première intégrale est étendue au volume k et η_v désigne l'entropie par unité de volume; la seconde est étendue à la surface s qui limite le volume k et η_s désigne l'entropie par unité d'aire sur cette surface; cette seconde intégrale exprime qu'il se produit sur la surface une absorption de chaleur.

En développant $\delta\xi'$ et remarquant que le volume k est arbitraire, on voit qu'il faut

identifier les deux membres terme à terme et il vient :

$$X = \frac{\partial \xi'}{\partial u}, \quad Y = \frac{\partial \xi'}{\partial v}, \quad Z = \frac{\partial \xi'}{\partial w} \qquad (17)$$

$$\frac{\partial \eta_v}{\partial t} = -\frac{\partial \xi'}{\partial T} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial \xi'}{\partial T_x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial \xi'}{\partial T_y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial \xi'}{\partial T_z}\right) \qquad (18)$$

$$\frac{\partial \eta_s}{\partial t} = \frac{\partial \xi'}{\partial T_x}\cos(n,x) + \frac{\partial \xi'}{\partial T_y}\cos(n,y) + \frac{\partial \xi'}{\partial T_z}\cos(n,z) \qquad (19)$$

la normale n est la normale à la surface dirigée vers l'intérieur du volume k. Si la surface est fermée et que les dérivées $\frac{\partial \xi'}{\partial T_x}$... etc. restent continues quand on la traverse, la résultante des vitesses de variation de l'entropie superficielle $\frac{\partial \eta_s}{\partial t}$ est nulle.

La vitesse totale de la variation de l'entropie dans un volume quelconque $\frac{\partial H}{\partial t}$, y compris sa surface s, sera :

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \int_k \frac{\partial \eta_v}{\partial t}\, dk + \int_k \frac{\partial \eta_s}{\partial t}\, ds = -\int_k \frac{\partial \xi'}{\partial T}\, dk$$

d'où en considérant l'unité de volume :

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{\partial \xi'}{\partial T} \qquad (20)$$

comme dans le cas précédent (formule 13).

On trouvera de même pour la quantité de chaleur ω' absorbée par unité de volume :

$$\omega' = -\left(\frac{\partial \xi'}{\partial T}T + \frac{\partial \xi'}{\partial T_x}T_x + \frac{\partial \xi'}{\partial T_y}T_y + \frac{\partial \xi'}{\partial T_z}T_z\right) \qquad (21)$$

Mais pour arriver à ces formules nous avons supposé que les dérivées T_x, T_y, T_z variaient d'une manière continue quand on traverse la surface qui limite le volume k. Pour éliminer cette difficulté le plus simple est de considérer au lieu de la surface géométrique une couche limite dans laquelle T_x, T_y, T_z varient très rapidement mais cependant d'une manière continue.

La variation de l'entropie par unité de surface sur cette couche de passage est alors :

$$\frac{\partial \eta_{e,i}}{\partial t} = \left(\frac{\partial \eta_s}{\partial t}\right)_e + \left(\frac{\partial \eta_s}{\partial t}\right)_i = \Sigma \frac{\partial \xi'_e}{\partial t}\cos(n_e, x) + \Sigma \frac{\partial \xi_i}{\partial t}\cos(n_i, x)$$

et la quantité de chaleur absorbée par unité de surface dans cette même couche de passage

$$\omega'_{e,i} = T\left[\Sigma \frac{\partial \xi'_e}{\partial t}\cos(n_e, x) + \Sigma \frac{\partial \xi'_i}{\partial t}\cos(n_i, x)\right] \qquad (24)$$

l'indice e se rapporte à l'extérieur, l'indice i à l'intérieur de la couche de passage.

L'ensemble des formules (17), (21), (25) représente les phénomènes thermoélectriques *réversibles* qui dépendent des chutes de température.

A côté des forces thermoélectriques peut exister une force électromotrice d'autre origine K_0 (X_0, Y_0, Z_0) ; les composantes du courant (u, v, w) seront des fonctions linéaires de $(X + X_0)$... etc. ; en particulier si le corps est isotrope

$$u = \lambda(X + X_0) \qquad v = \lambda(Y + Y_0) \qquad w = \lambda(Z + Z_0) \qquad (25)$$

λ désigne la conductibilité électrique spécifique.

Un courant calorifique I (U, V, W) pourra aussi se produire sous l'action des inégalités de température et on aura d'une manière analogue

$$-U = \Lambda T_x; \qquad -V = \Lambda T_y; \qquad -W = \Lambda T_z \qquad (26)$$

Λ étant la conductibilité thermique spécifique (en unités mécaniques).

Si ces deux espèces de courant sont stationnaires, on a en chaque point :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \qquad (27)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial U}{\partial z} = 0 \qquad (28)$$

Sur la couche de passage entre deux milieux différents e et i, les composantes normales des courants vérifient les relations :

$$n_e + n_i = 0 \qquad (29)$$

$$N_e + N_i = \omega'_{e,i} = 0 \qquad (30)$$

Pour que les forces thermoélectriques soient indépendantes du courant, il faut que ξ' soit une fonction linéaire de u, v, w; de même pour que le phénomène calorifique à la surface de séparation soit indépendant des conditions thermiques ambiantes, il faut que ξ' soit fonction linéaire de T_x, T_y, T_z.

La forme la plus générale que peut prendre ξ', d'après ces hypothèses qui sont d'accord avec les expériences, sera :

$$\xi' = T_x(u\theta'_{1.1} + v\theta'_{1.2} + w\theta'_{1.3}) + \ldots\ldots \quad (31)$$

les coefficients θ' étant des fonctions de la température, dont les paramètres sont eux-mêmes des fonctions des coordonnées, si les propriétés physiques du corps dépendent de ces coordonnées. Si nous nous bornons à considérer des corps homogènes, les θ' ne dépendront des coordonnées que par l'intermédiaire de la température T et en écrivant :

$$\theta'_{1.1} = \frac{d\theta_{1.1}}{dT} \ldots \text{ etc.}$$

il viendra :

$$\xi' = \Sigma u \left(\frac{\partial \theta_{1.1}}{\partial x} + \frac{\partial \theta_{1.2}}{\partial y} + \frac{\partial \theta_{1.3}}{\partial z} \right) \quad (32)$$

et par suite :

$$X = \frac{\partial \theta_{1.1}}{\partial x} + \frac{\partial \theta_{1.2}}{\partial y} + \frac{\partial \theta_{1.3}}{\partial z} \text{ etc.} \quad (33)$$

Le travail de la force thermoélectrique par unité de volume sera :

$$\alpha' = \xi', \quad (34)$$

l'absorption de chaleur par unité de volume :

$$\left.\begin{aligned} \omega' &= -\xi' + \frac{\partial \xi'}{\partial T} = -\frac{\partial T \xi'}{\partial T} \\ &= \Sigma - T_x \left(u \frac{\partial \theta_{1.1}}{\partial T} + v \frac{\partial \theta_{1.2}}{\partial T} + w \frac{\partial \theta_{1.3}}{\partial z} \right) \end{aligned}\right\} \quad (35)$$

et si le corps est homogène :

$$\omega' = \Sigma - \left(u \frac{\partial T \theta'_{1.1}}{\partial x} + v \frac{\partial T \theta_{1.2}}{\partial x} + w \frac{\partial T \theta_{1.3}}{\partial z} \right) \quad (36)$$

Dans le cas particulier où le courant électrique est uniforme dans tout le corps, ω' prendra la forme :

$$\omega' = \Sigma - \frac{\partial}{\partial x} [T (u\theta'_{1.1} + v\theta'_{1.2} + w\theta'_{1.3})] \quad (37)$$

ou pour abréger :

$$\omega' = -\frac{\partial \pi}{\partial x} - \frac{\partial \varphi}{\partial y} - \frac{\partial \chi}{\partial z} \quad (38)$$

autrement dit, le phénomène sera le même que si le courant électrique provoquait un courant calorifique ayant pour composantes π, φ, χ.

L'absorption de chaleur à la surface (phénomène Peltier) sera :

$$\begin{aligned} \omega'_{i,e} &= -\Sigma (\pi \cos n, x)_e - \Sigma (\pi \cos n, x)_i \\ &= -(\nu_e + \nu_i) \end{aligned} \quad (39)$$

ν_e et ν_i désignant les composantes normales du courant thermique dirigées *vers* la surface.

Des deux termes qui composent ω' d'après la formule (35), le premier représente, d'après (34), l'équivalent du travail fourni par la force K à l'élément de volume considéré, travail qui change de signe avec le courant ou avec la chute de température ; c'est donc un phénomène réversible. L'absorption de chaleur définie dans son ensemble comme chaleur de Joule est égale à $\omega'_0 - \xi'$, ω'_0 étant l'équivalent du travail fourni par la force électromotrice K_0 qui n'est pas d'origine thermoélectrique : effectivement en tenant compte de l'équation (26), on obtient pour cette somme, l'expression ordinaire, $-\frac{i^2}{\lambda}$ ou $-\lambda K^2$.

En ce qui concerne le deuxième terme de ω', $\omega'_2 = -T\frac{\partial \xi'}{\partial T}$ la relation (2) donne :

$$-\beta' = \omega'_2 \quad (40)$$

Ce terme représente donc le terme hypothétique introduit dans l'équation de l'énergie; il correspond en général au phénomène Thomson et s'annule quand $\frac{\partial \xi'}{\partial T} = 0$, c'est-à-dire quand les coefficients θ' sont indépendants de la température. Dans ce cas, la chaleur développée dans un élément de volume

est l'équivalent exact du travail dépensé dans cet élément.

Pour un corps isotrope, l'expression de ξ' se réduit à :

$$\xi' = \Theta'(u T_x + v T_y + w T_z) \tag{41}$$

Θ ne dépend plus que de la température et de la nature du milieu : en posant $\Theta' = \frac{d\Theta}{dT}$, on a si le milieu est homogène :

$$\xi' = \Sigma u \frac{\partial\Theta}{\partial x} \tag{42}$$

$$X = \frac{\partial\Theta}{\partial z}, \quad Y = \frac{\partial\Theta}{\partial y}, \quad Z = \frac{\partial\Theta}{\partial z} \tag{43}$$

En langage ordinaire, cela signifie que le phénomène est le même que s'il existait sur les surfaces de séparation, une force thermoélectrique,

$$P_{i,e} = \Theta_i - \Theta_e. \tag{44}$$

En chaque point intérieur, par unité de temps, il se fait, par unité de volume, une absorption de chaleur :

$$\omega' = -\left(u \frac{\partial T\Theta'}{\partial x} + v \frac{\partial T\Theta'}{\partial y} + w \frac{\partial T\Theta'}{\partial z}\right) \tag{45}$$

et sur la surface de séparation, par unité d'aire :

$$\omega'_{i,e} = n_{i,e} T(\Theta'_i - \Theta'_e) = n_{i,e} T \frac{\partial P_{i,e}}{\partial T}. \tag{46}$$

Ces trois dernières équations expriment des lois connues.

$$\omega' = -\left(\frac{\partial u T\Theta'}{\partial z} + \frac{\partial v T\Theta'}{\partial y} \frac{\partial w T\Theta'}{\partial z}\right) \tag{47}$$

En mettant l'équation (45) sous la forme : on voit que dans les milieux isotropes le phénomène thermique réversible se passe comme si le courant électrique (u, v, w) provoquait un courant thermique $(-uT\Theta', -vT\Theta', -wT\Theta')$: — $T\Theta'$ représente donc le coefficient d'entraînement de la chaleur par l'électricité.

Comme ci-dessus on peut décomposer ω' en ses deux termes : chaleur de Joule et chaleur de Thomson; mais ici chacun de ces termes peut être regardé pour son compte, comme répondant à un courant thermique provoqué par le courant électrique.

En tenant compte des équations de continuité (27), (28), on trouve respectivement pour les composantes de ces courants

$$u_1 = -u\Theta \quad v_1 = -v\Theta \quad w_1 = -w\Theta \tag{48}$$

$$u_2 = u\left(\Theta - T\frac{d\Theta}{dT}\right) = u\Phi, \quad v_2 = v\Phi, \quad w_2 = w\Phi \tag{49}$$

La *chaleur spécifique de l'électricité* σ d'après Thomson, a pour expression :

$$\sigma = \frac{1}{E}\frac{d\Phi}{dT} = -\frac{T}{E}\frac{d^2\Theta}{dT^2} \tag{50}$$

en appelant E l'équivalent mécanique de la calorie.

Le coefficient σ est nul quand Θ est une fonction linéaire de T, c'est-à-dire quand Φ se réduit à une constante. L'expérience nous apprend que cette condition se trouve réalisée dans le plomb.

Pour les autres métaux, Θ se représentera approximativement par une fonction du second degré, soit en prenant pour variable la température τ en degrés centigrades.

$$-\Theta = a\tau + \frac{1}{2}b\tau_2 + c \tag{51}$$

La force électromotrice apparente sur une surface de séparation sera :

$$P_{i,e} = (a_i - a_e)\tau + \frac{1}{2}(b_i - b_e)\tau^2 + c_i - c_e \tag{52}$$

et la chaleur spécifique de l'électricité dans un métal *m* sera :

$$\sigma_m = \frac{Tb_m}{E} \tag{53}$$

Pour le plomb, on a sensiblement $b = 0$.

Ces résultats sont en partie identiques aux résultats obtenus par Riecke, en partie différents d'eux. Sur un point, il y a une différence essentielle. Dans la théorie présente, on trouve les forces électromotrices comme une conséquence directe d'une chute de température; Riecke, au contraire, trouve d'abord un courant et en conclut à l'existence des forces électromotrices : de plus Riecke [1] fait

[1] Riecke, *loc. cit.*, p. 294.

dès le début une restriction qui le conduit à la formule (52) et qui correspond à l'hypothèse exprimée par l'équation (51).

La relation

$$\frac{\omega k}{\lambda} = E \frac{\tau_i}{T}$$

donnée par l'expérience et qui est fondamentale dans la théorie de Riecke, se déduit aisément des équations (43) et de l'expression du courant thermique $(-u T \Theta' ...)$ quand on suppose qu'il existe seulement ou une force électromotrice, ou une chute de température.

Les formules (52) et (53) sont identiques à celles de Riecke[1]. Les deux théories s'accordent donc dans leurs traits généraux, mais elles pourraient se trouver en discordance dans des cas particuliers.

Influence d'un champ magnétique. — Les résultats précédents ont besoin d'être complétés quand le corps isotrope considéré se trouve dans un champ magnétique. Tout d'abord, on fera une première correction en introduisant des termes linéaires par rapport au champ intérieur R_i et par suite linéaires aussi par rapport au champ extérieur R, si on se borne à des intensités moyennes.

Cette correction peut s'effectuer de deux manières.

Ou bien on admettra que le champ magnétique provoque un phénomène réversible. Il faudra alors ajouter à ξ' un terme :

$$\xi'_1 = \Theta_1 [A(w T_y - v T_z) + B(u T_z - w T_x) + C(v T_x - u T_y)] \quad (54)$$

où Θ_1 désigne une fonction de la température seule ; en effet, ce terme correctif doit être symétrique aux composantes A, B, C, du champ magnétique. Si on prend l'axe de Z parallèle à la direction du champ, l'expression de ξ'_1 se réduit à ·

$$\xi'_1 = \Theta_1 R (v T_x - w T_y) \quad (55)$$

Aux composantes X, Y, Z définies par les formules (17), il faut donc ajouter les termes :

$$X_1 = -\Theta_1 R T_y \quad Y_1 = +\Theta_1 R T_x \quad Z_1 = 0 \quad (56)$$

[1] *Ibid.*, p. 295.

et aux composantes (38) du courant π, φ, χ, les termes :

$$\pi_1 = -\Theta_1 R T v, \quad \varphi_1 = +\Theta_1 R T u, \quad \chi_1 = 0. \quad (57)$$

Autrement, on peut supposer que le champ magnétique fait tourner les forces thermoélectriques et le courant de convection thermique, ainsi que le courant électrique dans le phénomène de Hall, autour des lignes de force magnétique. En admettant que l'angle de rotation soit petit, les termes correctifs seraient de la forme :

$$\left.\begin{aligned} X'_1 &= -\nu R \frac{\partial \Theta}{\partial y} = -\nu R \Theta' T_y \\ Y'_1 &= +\nu R \frac{\partial \Theta}{\partial x} = -\nu R \Theta' T_x \\ Z'_1 &= 0 \end{aligned}\right\} \quad (58)$$

et

$$\pi'_1 = +\nu R T \Theta' v \quad \varphi'_1 = -\nu R T \Theta' u \quad \chi'_1 = 0 \quad (59)$$

Le facteur V qui mesure la rotation est une fonction de l'intensité du champ, qui peut, dans une première approximation être regardée comme constante.

Les forces K_1 et K'_1 définies par les équations (56) et (58) suivent les mêmes lois : toutes deux sont normales à la direction suivant laquelle se fait la chute de température et à la direction du champ magnétique, elles sont proportionnelles à la chute de température et à l'intensité du champ magnétique. De même les courants I et I'_1 définis par (57) et (59) sont parallèles entre eux ; ils sont normaux au courant électrique et au champ magnétique, et proportionnels au produit du champ par la densité du courant électrique.

Nous avons donc là deux effets *transversaux* du champ magnétique.

Dans le cas général où chaque couple se produit simultanément, en admettant toujours que le champ soit dirigé suivant l'axe des Z positifs, nous aurons :

$$\left.\begin{aligned} X &= \Theta'(T_x - \nu R T_y) - \Theta_1 R T_y \\ Y &= \Theta'(T_y + \nu R T_x) + \Theta_1 R T_x \\ Z &= 0 \end{aligned}\right\} \quad (60)$$

$$\left.\begin{aligned} \pi &= -\Theta' T(u - \nu R v) - \Theta_1 R T v \\ \varphi &= -\Theta' T(v + \nu R u) + \Theta_1 R T u \\ \chi &= -\Theta' T w \end{aligned}\right\} \quad (61)$$

Les équations du courant électrique prendront la forme :

$$\left.\begin{aligned} u &= \lambda(X + X_0) - \mu R v \\ v &= \lambda(Y + Y_0) + \mu R u \\ w &= \lambda(Z + Z_0) \end{aligned}\right\} \qquad (62)$$

μ est le coefficient qui mesure le phénomène de Hall et varie en général avec R.

D'une manière analogue les équations du courant thermique deviendront :

$$\left.\begin{aligned} -U &= \Lambda T_x - MRT_y \\ -V &= \Lambda T_y + MRT_x \\ -W &= \Lambda T_z \end{aligned}\right\} \qquad (63)$$

Le coefficient de M mesure un phénomène analogue à celui de Hall.

Considérons une lame prismatique dont les faces soient parallèles aux axes de coordonnées : le champ magnétique est parallèle à l'axe des Z ; les faces normales à l'axe des X et à l'axe des Z sont isolées au point de vue thermique et au point de vue électrique. La dimension de la lame parallèle à OY est assez grande relativement aux deux autres pour qu'un courant électrique ou thermique traversant la lame dans la direction OY ait une direction et une densité uniformes. Supposons qu'un courant thermique uniforme traverse la lame dans la direction des Y négatifs et déterminons les effets de ce courant dans la direction des X.

Comme $u = v = 0$ et que l'état thermique étant permanent $U + \varphi = 0$,

$$\left.\begin{aligned} X &= RT_y\left[\theta'\left(\frac{M}{\Lambda} - \nu\right) - \theta_1\right] \\ \varphi &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad (64)$$

Aucun courant électrique ne pouvant traverser la lame, elle doit acquérir une charge électrique qui produise une différence de potentiel faisant équilibre à la force X : il y aura donc une différence de potentiel thermomagnétique transversale :

$$X_0 = -\frac{\partial F}{\partial x} = -F_x \qquad (65)$$

d'où

$$F_x = RT_y\left[\theta'\frac{M}{\Lambda} - \nu\right) - \theta_1\right] \qquad (66)$$

Le premier terme $\theta'\frac{M}{\Lambda}$ de cette expression représente la différence de potentiel thermoélectrique ordinaire provoquée par la rotation magnétique des isothermes.

Si la lame est traversée par un courant électrique uniforme dans la direction des Y positifs, on a, puisque $u = 0$,

$$\varphi = +(\nu\theta' - \theta_1)RTv \qquad (67)$$

l'état thermique étant stationnaire, on a encore $U + \varphi = 0$ et par conséquent, une *chute de température galvanothermique transversale* T_x

$$T_x = +(\nu\theta' - \theta_1)\frac{RTv}{\Lambda} + \frac{MRT_y}{\Lambda} \qquad (68)$$

En tenant compte des équations (60) et (62) on trouve pour la différence de potentiel F_x l'expression :

$$F_x = -\frac{\mu}{\lambda}Rv = \theta'(T_x - \nu RT_y) - \theta_1 RT_y - \frac{\mu}{\lambda}Rv \qquad (69)$$

dans laquelle il faut remplacer T_x par sa valeur (68). La valeur de T_y dépend de la manière dont la chaleur Peltier développée à l'entrée du courant peut se dissiper au dehors; il est donc, en général impossible de la fixer.

Si l'expérience est disposée de manière qu'une chute de température ne puisse pas se produire dans la direction du courant électrique, alors $T_y = 0$ et les formules ci-dessus se simplifient :

$$T_x = (\nu\theta' - \theta_1)\frac{RTv}{\Lambda}$$

$$F_x = \left[\theta'(\nu\theta' - \theta_1)\frac{T}{\Lambda} - \frac{\mu}{\lambda}\right]Rv$$

cette dernière équation ne diffère que par son premier terme de la formule ordinaire du phénomène de Hall. Pour le moment, il est impossible de déterminer les paramètres θ' et θ_1 ; à priori : pour comparer ces formules aux résultats expérimentaux, il faut donc écrire d'abord :

$$F_x = -H'RT_y$$

$$T_x = -H''\frac{RTv}{\Lambda}$$

où π' et π'' représentent pour chaque substance des fonctions de la température qui peuvent aussi dépendre de l'intensité R du champ magnétique. Ces formules expriment d'une manière satisfaisante les résultats des expériences de von Ettinghausen et Nernst.

Ces expériences avaient mis en évidence les effets signalés, sauf le phénomène de Hall relatif aux isothermes. Plus récemment, van Everdingen a pu mesurer les quatre phénomènes et ses nombres sont en partie très différents des nombres d'Ettinghausen et Nernst.

Les formules théoriques sont assez générales pour qu'on puisse les faire concorder avec les uns ou les autres résultats : mais ceux-ci ne paraissent pas encore assez certains pour pouvoir servir de critérium.

On peut chercher à obtenir une approximation plus grande en introduisant dans les formules, non plus seulement des fonctions linéaires, mais des fonctions quadratiques du champ magnétique. Le phénomène réversible exprimé par les termes carrés est alors rigoureusement *longitudinal*, quand T_ζ et w sont nuls.

Si on suppose que les conductibilités thermiques et électriques varient avec le carré du champ, on obtient un phénomène irréversible qui devient aussi longitudinal quand on fait $T_\zeta = w = 0$.

Il y a une différence cependant entre la signification de ces termes quadratiques et celle des termes linéaires : tandis que les premiers donnent directement une force électromotrice ou une convection thermique, les autres représentent seulement des variations de conductibilité qui, le cas échéant, ont le même effet que la force électromotrice ou la convection.

Jusqu'ici le phénomène qui est expérimentalement le mieux connu est l'effet thermomagnétique longitudinal qui a dans le bismuth une valeur notable. Si cet effet doit être expliqué par les phénomènes irréversibles, il faudrait admettre une variation de la conductibilité thermique dans le champ magnétique. Comme Nernst n'a pas réussi à déceler cette variation, il semble donc qu'il faut donner la préférence à l'hypothèse qui attribue cet effet longitudinal aux phénomènes réversibles.

Les expériences indiquent que l'effet thermomagnétique est pour les faibles intensités du champ R proportionnel à R^2, pour les plus grandes à R ; aussi la force électromotrice résultant de l'effet galvanothermique tend toujours à affaiblir le courant primaire : la discussion des formules trouvées conduit aussi à cette conséquence. M. L.

La pyroélectricité se ramène-t-elle en totalité à la piézoélectricité ;

Par W. Voigt [1].

J. et P. Curie qui ont découvert les phénomènes piézoélectriques ont fait remarquer que les phénomènes pyroélectriques pourraient se ramener aux premiers, c'est-à-dire que la variation de température du cristal provoquerait son électrisation seulement parce qu'elle le déforme. Plus tard Rœntgen a défendu également cette manière de voir comme conforme aux résultats de ces observations.

Si on appelle électrisation pyroélectrique *réelle* celle que produirait dans un cristal une élévation de température uniforme, en supposant la déformation supprimée, il est évident de prime abord que cette électrisation ne peut se produire dans un cristal qui ne possède pas un axe de symétrie polarisé. Cette circonstance est intimement liée comme le montre la théorie, à cette autre qu'une pression uniforme ne provoque pas d'électrisation dans les cristaux de cette espèce, mais qu'il faut une pression variant avec la direction pour les électriser.

Autrement, si le cristal possède un axe de symétrie polaire, l'expérience seule peut décider si la pyroélectricité se ramène à la

(1) *Wied. Ann.* t. LXVI, p. 1029-1060, 1898.

piézoélectricité. La preuve directe, consistant à chercher si le cristal s'électrise quand il est chauffé uniformément et quand on supprime la déformation, est pratiquement irréalisable. Il faut donc prendre un chemin détourné.

D'après les expériences de Riecke, on connaît la variation du moment électrique spécifique de la tourmaline pour une élévation de température de 1° C.

D'autre part d'après les formules de Voigt et les valeurs des modules d'élasticité qu'il a données, on connaît les constantes piézoélectriques de la tourmaline : ce qui permet de calculer la variation du moment électrique spécifique pour une déformation quelconque. Enfin à l'aide des constantes de dilatation thermique déterminées par les autres auteurs, on calculera la déformation qu'éprouve le cristal pour une variation de température de 1 degré et finalement l'électrisation qui résulterait de cette variation, si l'électrisation résulte seulement de la déformation selon l'hypothèse de J. et P. Curie.

Les écarts entre les nombres ainsi calculés et ceux que Riecke a observés ne dépassent pas 10 p. 100. Cependant ces expériences ne sont pas décisives et cette coïncidence pourrait bien être l'effet du hasard. Car le calcul porte sur un grand nombre de constantes physiques, déterminées par des méthodes diverses, qui peuvent être affectées d'une erreur plus ou moins importante et surtout ces constantes n'ont pas été mesurées sur le même cristal.

Toutes ces objections possibles ont déterminé M. Voigt à recommencer la vérification au moyen de constantes mesurées sur le même cristal.

Formules fondamentales. — Le point de départ de la théorie, c'est que les moments diélectriques de l'unité de volume a, b, c, par rapport aux trois axes de coordonnées sont des fonctions linéaires des six déformations x_x, y_y, z_z, y_z, z_x, x_y.

$$a = \varepsilon_{11} x_x + \varepsilon_{12} y_y + \varepsilon_{13} z_z + \varepsilon_{14} y_z + \varepsilon_{15} z_x + \varepsilon_{16} x_y. \quad (1)$$

Les 18 constantes piézoélectriques ε_{11},... sont en général indépendantes l'une de l'autre.

Pour toutes les déformations à température constante, les déformations sont des fonctions linéaires et homogènes des composantes de pression X_x, Y_y, Z_z, Y_z, Z_x, X_y.

$$-x_x = s_{11} X_x + s_{12} Y_y + s_{13} Z_z + s_{14} Y_z + s_{15} Z_x + s_{16} X_y. \quad (2)$$

Les coefficients s sont les modules d'élasticité de la substance et on a $s_{hk} = s_{kh}$.

A l'aide de ces deux séries de relations, on peut exprimer les moments diélectriques en fonction des pressions :

$$-a = \delta_{11} X_x + \delta_{12} Y_y + \delta_{13} Z_z + \delta_{14} Y_z + \delta_{15} Z_x + \delta_{16} X_y. \quad (3)$$

et les modules piézoélectriques δ_{ih} sont définis par les relations :

$$\delta_{ih} = \varepsilon_{k} \varepsilon_{ik} s_{hk}. \quad (4)$$

Pour les cristaux hémiédriques et hémimorphes du système rhomboédrique, comme la tourmaline, les formules se simplifient. Prenons pour axe des Z l'axe ternaire, pour axe des X l'un des axes binaires et l'axe des Y la perpendiculaire au précédent, du côté où elle rencontre l'une des faces rhomboédriques qui se coupent sur l'axe des Z. Il vient alors : pour les moments diélectriques :

$$\left.\begin{aligned} a &= \varepsilon_{15} z_x - \varepsilon_{22} x_y \\ b &= \varepsilon_{22} (x_x - y_y) + \varepsilon_{15} y_z \\ c &= \varepsilon_{31} (x_x + y_y) + \varepsilon_{33} z_z. \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

Les expressions des déformations en fonction des pressions deviennent :

$$\begin{aligned} -x_x &= s_{11} X_x + s_{12} Y_y + s_{13} Z_z + s_{14} Y_z \\ -y_y &= s_{12} X_x + s_{11} Y_y + s_{13} Z_z + s_{14} Y_z \\ -z_z &= s_{13} X_x + s_{13} Y_y + s_{33} Z_z \\ -y_z &= s_{14} X_x - s_{14} Y_y + s_{44} Y_z \\ -z_z &= s_{44} Z_x + 2 s_{14} X_y \\ -x_y &= 2 s_{14} Z_x + 2 (s_{11} - s_{12}) X_y. \end{aligned}$$

Les moments diélectriques seront donc liés aux pressions par les relations :

$$\left.\begin{aligned} -a &= \delta_{15} Z_x - 2\delta_{22} X_y \\ -b &= -\delta_{22} (X_x - Y_y) + \delta_{15} Y_z \\ -c &= \delta_{31} (X_x + Y_y) + \delta_{33} Z_z \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

dont les coefficients δ sont définis par :

$$\left.\begin{aligned} \delta_{22} &= \varepsilon_{22}(s_{11} - s_{12}) - \varepsilon_{15}s_{14} \\ \delta_{31} &= \varepsilon_{31}(s_{11} + s_{12}) + \varepsilon_{33}s_{13} \\ \delta_{15} &= \varepsilon_{15}s_{44} - 2\varepsilon_{22}s_{14} \\ \delta_{33} &= 2\varepsilon_{31}s_{31} + \varepsilon_{33}s_{33}. \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

De ce système (8), on peut aussi déduire l'expression des constantes piézoélectriques ε en fonction des modules δ et s.

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_{22} &= \frac{\delta_{22}s_{44} + \delta_{15}s_{14}}{s_{44}(s_{11} - s_{12}) - 2s^2_{14}} \\ \varepsilon_{31} &= \frac{\delta_{31}s_{33} - \delta_{33}s_{13}}{s_{33}(s_{11} + s_{12}) - 2s^2_{13}} \\ \varepsilon_{15} &= \frac{2\delta_{22}s_{14} + \delta_{15}(s_{11} - s_{12})}{s_{44}(s_{11} - s_{12}) - 2s^2_{14}} \\ \varepsilon_{33} &= \frac{-2\delta_{31}s_{13} + \delta_{33}(s_{11} + s_{12})}{s_{33}(s_{11} + s_{12}) - 2s^2_{13}} \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

Pour des variations de température τ qui ne sont pas très grandes, on peut admettre que les déformations thermiques sont proportionnelles à τ : dans le cas de la tourmaline les coefficients de déformation thermique se réduisent à deux :

$$\begin{gathered} x_x = y_y = \alpha_1\tau \\ z_z = \alpha_3\tau \\ y_z = z_x = x_y = 0. \end{gathered}$$

Il résulte de là que l'électrisation piézoélectrique provoquée par une variation de température τ, sans variation de pression, correspond à

$$\begin{gathered} a = b = 0 \\ c = \frac{2(\delta_{31}s_{33} - \delta_{33}s_{13})\alpha_1 - [2\delta_{31}s_{13} - \delta_{33}(s_{11} + s_{12})]\alpha_3}{s_{33}(s_{11} + s_{12}) - 2s^2_{13}}\tau \\ = \delta\tau \end{gathered}$$

δ est ce qu'on peut appeler le module de pyroélectricité apparente.

Le phénomène total est également proportionnel à la variation de température si celle-ci n'est pas très grande.

$$(a) = 0 \qquad (b) = 0 \qquad (c) = \gamma\tau.$$

γ sera le coefficient de pyroélectricité totale : la différence $(c) - c$ représente le phénomène pyroélectrique qui ne se ramène pas à une cause piézoélectrique :

$$\gamma - \delta = \theta$$

sera le coefficient de pyroélectricité vraie. Il s'agit de savoir si θ a une valeur appréciable vis-à-vis de γ ou de δ.

Les modules d'élascité et de piézoélectricité ont été empruntés aux expériences effectuées précédemment par l'auteur en collaboration avec M. Riecke : les constantes thermiques ont été déterminées d'après la méthode de Fizeau dans l'établissement Zeiss à Iéna.

Pour les mesures électriques, on relie deux échantillons, l'un à l'une des paires de quadrants d'un électromètre de Thomson, l'autre à l'autre paire, le premier échantillon est électrisé pyroélectriquement, ensuite le second est électrisé piézoélectriquement et chaque fois on lit l'indication de l'électromètre. Comme il s'agit de comparer des charges, il est indispensable d'isoler rigoureusement l'électromètre et d'autre part il est inutile de le graduer en unités absolues. Il faut tenir compte aussi de ce que la température de la pièce, n'est pas absolument invariable, de sorte qu'au phénomène piézoélectrique s'ajoute un faible phénomène pyroélectrique. On élimine cette erreur ainsi que les erreurs qui pourraient provenir d'un défaut d'isolement en observant cinq élongations de l'aiguille et en déduisant de là par une méthode connue, l'élongation vraie.

La conclusion des expériences est que la plus grande partie (les 4/5 environ) de l'électrisation produite dans la tourmaline par une élévation de température peut être ramenée à des phénomènes piézoélectriques, mais que le reste (1/5), paraît dû à une action directe de la température et subsisterait si on annulait la déformation thermique.

Les valeurs des modules γ et δ sont respectivement :

$$\gamma = 1{,}31 \qquad \delta = 0{,}238$$

L'hypothèse de Curie et Rœntgen se trouve donc infirmée dans le cas des cristaux qui ont un axe polarisé. Mais il n'en est pas de même en ce qui concerne les cristaux sans axes polarisés : il faut dans ces derniers tenir

compte à la fois de l'action directe de la température et des déformations produites.

Dans les formules relatives à la tourmaline, il faut pour représenter la pyroélectricité vraie ajouter un terme proportionnel à la variation de température τ, $\theta\tau$ et on a dès lors

$$\gamma = \theta + 2\alpha_1\varepsilon_{31} + \alpha_3\varepsilon_{33}$$

M. Voigt fait remarquer que la tourmaline comprimée représente une source d'électricité qui permet d'obtenir une quantité déterminée d'électricité. Le quartz a déjà été employé comme tel par M. Bouty dans ses expériences sur la polarisation. M. L.

Le phénomène Philipps;

Par Sylvanus P. Thompson (¹).

Sous ce titre le professeur S.-P. Thompson adresse à *The Electrician* une lettre dans laquelle il propose une explication d'un nouveau phénomène magnéto-optique que M. C.-E.-S. Philipps présentait à la réunion du 15 décembre dernier de la Royal Society de Londres. Le compte rendu de cette séance n'ayant pas encore été publié, M. S.-P. Thompson commence par donner une description sommaire de l'appareil employé pour produire ce phénomène et du phénomène lui-même.

« L'appareil consiste en un dispositif permettant de produire soudainement un champ magnétique très intense entre deux pièces polaires placées à l'intérieur d'une ampoule vide. L'ampoule, en verre, est munie de deux tubulures opposées fermées par des garnitures de laiton cimentées au verre; elle porte en outre une troisième tubulure latérale la reliant à une pompe de Sprengel. A travers les garnitures de laiton passent deux tiges de fer pointues, dont les pointes sont très rapprochées. Ces tiges sont aimantées par des électro-aimants extérieurs; elles servent aussi d'électrodes et sont reliées aux bornes d'une bobine d'induction.

» Après avoir poussé le vide à un degré tel que la force électromotrice nécessaire à la décharge corresponde à une longueur d'étincelle d'environ 3 cm dans l'air, M. Philipps a constaté les faits suivants : « Si l'on excite « fortement l'ampoule puis qu'on cesse l'ex- « citation, les électrodes restant pendant tout « ce temps non aimantées, puis qu'enfin on « excite les électro-aimants, on voit appa- « raître soudainement entre les pointes des « électrodes un anneau lumineux dont le « plan est perpendiculaire à la direction du « champ magnétique. L'anneau brille d'un « vif éclat pendant le temps que le circuit « magnétique met à s'établir, et il est d'au- « tant mieux limité que le vide est plus « élevé ». On a observé que cet anneau, qui se maintient pendant plusieurs secondes et est assez lumineux pour être visible en plein jour, tourne autour de l'axe du champ magnétique dans un plan situé entre les pointes des pièces polaires. Tout d'abord son mouvement est si rapide qu'on ne peut le suivre, mais il se ralentit et au bout de deux ou trois secondes il peut être observé. Lorsqu'on supprime le champ magnétique l'anneau s'évanouit; quelquefois il réapparaît par le rétablissement du champ. Si l'on excite le tube par le passage d'une décharge entre les électrodes, puisqu'on l'abandonne pendant cinq ou dix minutes, l'anneau se produit dès qu'on établit le champ, malgré la longueur de l'intervalle de temps séparant l'excitation du tube et l'établissement du champ. Le sens de la rotation de l'anneau se renverse lorsqu'on renverse la direction du champ; mais un renversement dans le sens de la décharge préliminaire nécessaire pour l'excitation du tube n'a aucun effet sur le sens de la rotation de l'anneau lumineux. L'éclat de l'anneau est influencé lorsqu'on touche du doigt la surface externe de l'ampoule. La formation de l'anneau se produit également bien, que les deux électrodes soient isolées, ou que l'une d'elles ou toutes deux soient reliées au sol au mo-

---

(¹) *The Electrician*, t. XLIII, p. 412, 14 juillet 1899.

ment où l'on excite l'électro-aimant. Formé sous l'action de l'électro-aimant, l'anneau continue à tourner après que le champ magnétique a atteint son maximum. »

M. S.-P. Thompson développe ensuite quelques remarques qu'il fit lors de la communication de M. Philipps. En voici la traduction :

« Le sens de la rotation changeant par le renversement de la polarité de l'électro-aimant et ne changeant pas par le renversement de la direction de la décharge excitatrice, il s'ensuit que, si la rotation est due à des décharges entre la paroi interne du tube et les électrodes de fer, ces décharges radiales doivent, en appliquant les lois ordinaires des actions électromagnétiques être équivalentes à un courant radial centripète. Le sens de la rotation peut, en effet, être expliqué en supposant que la surface interne de l'ampoule s'électrise positivement pendant l'excitation, qu'ensuite il y a une décharge radiale centripète vers les électrodes, et que cette décharge est déviée par le champ magnétique exactement comme si c'était un conducteur traversé par un courant. Mais cette hypothèse, quoiqu'elle rende compte du sens de la rotation de l'anneau, n'explique pas pourquoi cet anneau prend naissance lorsque, après une période de repos, on excite l'électro-aimant. Cette formation de l'anneau me semble indiquer que la production du champ magnétique donne naissance à des forces électrostatiques tangentielles qui détachent les charges électriques et font commencer la décharge : le mouvement du champ magnétique agirait sur une charge électrique en repos d'une manière analogue, mais inverse, à celle d'un champ magnétique en repos sur une charge électrique en mouvement. Si l'on n'admet pas cette explication il faut admettre que pendant la période de repos du tube il y a une décharge radiale invisible qui exige la présence du champ magnétique pour être rendue visible et mise en mouvement. Cette dernière hypothèse me paraît absolument improbable; il est vrai que la première suppose l'existence d'une action jusqu'ici non observée.

» D'ailleurs de récentes expériences de M. Phillips me paraissent confirmer la première explication. D'autre part le fait que la décharge cathodique dans un tube à vide est soumise, comme un conducteur traversé par un courant, à une déviation dans un champ magnétique, justifie l'hypothèse de regarder un flux de particules électrisées comme constituant un courant de convection. Si Q est la quantité d'électricité transportée pendant un temps t le long d'un chemin donné, l'intensité du courant équivalent (en supposant le flux uniforme pendant le temps t) sera $I = \frac{Q}{t}$. La force f exercée par un champ magnétique stationnaire d'intensité H sur un conducteur de longueur l traversé par un courant d'intensité I, a pour expression $f = IHl$. En substituant dans cette expression la valeur précédente de I, il vient :

$$f = \frac{QHl}{t}.$$

Nous pouvons écrire cette relation

$$f = QH\frac{l}{t},$$

et alors elle exprime la force en fonction de la vitesse moyenne avec laquelle les particules électrisées se meuvent dans le champ magnétique stationnaire. Mais comme l'action que nous voulons expliquer dépend du mouvement relatif du champ, nous pouvons l'écrire, avec tout autant de logique,

$$f = Q\frac{H}{t}l,$$

où Q représente la quantité d'électricité possédée par les particules situées sur la longueur l, et où $\frac{H}{t}$ représente l'accroissement de l'intensité du champ magnétique par unité de temps. Cette force est en outre dirigée perpendiculairement à la direction des lignes de force du champ et perpendiculairement à la direction suivant laquelle ces lignes se

déplacent. Dans le cas des expériences de M. Phillips, les lignes de force magnétique pendant l'établissement du champ se meuvent radialement; leur direction propre est approximativement axiale. Par conséquent la force exercée sur les charges électriques en repos est tangentielle. Il est d'ailleurs évident que ceci n'est qu'une façon grossière et générale d'envisager le problème, que beaucoup d'autres considérations seraient nécessaires pour une discussion complète, et que la forme circulaire de la trajectoire du flux de particules électrisées doit dépendre de la distribution du champ et des vitesses variables des particules. Le seul point sur lequel je voulais attirer l'attention est cette conséquence des faits expérimentaux : que la variation d'un champ magnétique donne lieu à des forces électrostatiques sur des corps chargés d'électricité. »

CHRONIQUE

Moyen de remédier à l'accroissement des pertes d'énergie dans les transformateurs à courants alternatifs. — Les pertes d'énergie par hystérésis et par courants de Foucault dans les noyaux des transformateurs sont une cause de diminution assez sensible du rendement des réseaux de distribution par courants alternatifs. Cette diminution va d'ailleurs en s'accroissant avec le temps car on sait que les pertes d'énergie dans les transformateurs augmentent à mesure que ceux-ci « vieillissent », de nombreux essais ayant montré que, après une durée relativement courte de fonctionnement normal des transformateurs, elles prennent une valeur souvent double, quelquefois même quadruple ou quintuple, de leur valeur primitive. Tout moyen de remédier à cet accroissement des pertes d'énergie, et par conséquent à la diminution croissante du rendement des réseaux de distribution à courants alternatifs, offre donc un intérêt considérable.

Dans une communication faite à la récente « National Electric Light Convention » et dont un extrait est publié par *The Electrical World*, du 17 juin, M. G. Wilbur Hubley indique précisément un moyen remplissant ce but, moyen très simple d'ailleurs puisqu'il consiste à démonter le transformateur trop « vieux », à recuire au rouge cerise les tôles du noyau et à remonter ensuite le transformateur.

Dans le tableau I sont consignés quelques chiffres indiquant, pour des transformateurs de diverses puissances, la perte d'énergie annuelle en kilowatts-heure avant et après le traitement indiqué, le gain d'énergie annuel, l'économie résultant du traitement le kilowatt-heure étant compté à 10 cent, le prix de revient du traitement et enfin le rapport de l'économie réalisée en un an à la somme dépensée pour remettre le transformateur en état. Les chiffres de cette dernière colonne font nettement ressortir l'intérêt qu'il y a à « rajeunir » les transformateurs trop « vieux ».

Ajoutons que, ainsi qu'il arrive malheureusement trop souvent dans les communications faites devant

Tableau I

PUISSANCE en watts.	PERTE PAR AN kw-heure.		GAIN ANNUEL en kw-heure.	ÉCONOMIE annuelle à 0 fr. 10 le kw-h. en francs.	COÛT du traitement.	RAPPORT des nombres des deux précédentes colonnes.
	Avant traitement.	Après traitement.				
500	560,64	367,92	192,7	19,25	5,50	3,50
1 000	770,88	516,84	254	25,40	9,25	2,75
2 000	1 314	1 024,92	281,1	28,90	13	2,22
3 000	1 217,64	849,72	367,9	36,70	18	2,04
7 500	1 462,90	1 182,60	280,3	28	22,50	1,25
10 000	2 102,40	1 401,60	700,8	70	25	2,80
25 000	4 642,80	1 813,30	2 829,5	282,95	27,50	10,29

TABLEAU II

PUISSANCE en watts.	PERTE dans le fer.		RÉGULATION pour cent.	PUISSANCE en watts.	PERTE dans le fer.		RÉGULATION pour cent.	PUISSANCE en watts.	PERTE dans le fer.		RÉGULATION pour cent.
	Watts	P. cent			Watts	P. cent			Watts	P. cent	
500	35	7	3	3 750	90	2,40	2,50	15 000	210	1,40	2
600	36	6	3	4 000	90	2,25	2,50	18 750	225	1,20	2
1 000	45	4.50	3	5 000	110	2,20	2,25	20 000	240	1,20	2
1 250	45	3,60	3	6 000	120	2	2,25	25 000	275	1,10	2
1 500	51	3,40	3	6 250	125	2	2	30 000	300	1	2
2 000	60	3	3	7 500	150	2	2	37 500	375	1	2
2 500	65	2.60	2,50	10 000	175	1,75	2	50 000	500	1	2
3 000	75	2,50	2,50	12 500	200	1,60	2				

des sociétés industrielles, M. Hubley n'a pas manqué de faire quelque réclame pour les transformateurs construits par la compagnie dont il est l'ingénieur ; c'est même par ce point qu'il a commencé sa communication. Nous retiendrons de ses déclarations que ces transformateurs peuvent fonctionner pendant 8 heures à pleine charge et pendant 2 heures sous une charge dépassant de 25 p. 100 leur charge normale sans que la température du noyau s'élève à plus de 60°C au-dessus de la température ambiante; quant aux pertes initiales de ces appareils elles sont données dans le tableau II, qui indique aussi la variation du potentiel aux bornes sous diverses charges ; l'accroissement de ces pertes ne serait que de 10 p. 100 au bout de deux ans de fonctionnement.

Théorie de la commutation dans les machines à courant continu. — (*Errata.*) — MM. Fischer et Guillaume nous signalent les quelques fautes suivantes restées dans l'article publié dans le précédent numéro :

La longueur l_1 et la largeur γ de la partie frottante des balais, ainsi que la vitesse circonférencielle v du collecteur sont supposées exprimées en *centimètres* et non en mètres comme il est dit à la page 42.

Dans la formule (1) de cette même page, lire

$$I_1\left(r_1+\frac{r_4}{2}\right)$$

au lieu de

$$r_1\left(I_1+\frac{r_4}{2}\right)$$

Un peu plus bas, lire

$$r_2=\frac{P}{l_1 \gamma t}$$

au lieu de

$$r_2=\frac{P}{l_2 \gamma t}$$

Dans l'expression J (même page), l'exposant de e doit être affecté du signe + et non du signe —.

Page 43 : dans l'expression de $\varphi(x)$, il manque le terme $-\frac{1}{x}$; dans les valeurs de A et A_1 (2e colonne) les signes + doivent être remplacés par des signes ×.

Page 45 : dans l'expression $\frac{dI_1}{dx}$ il manque le facteur θ dans le premier terme du numérateur; dans la note (2), l'exposant de e, dans l'expression de I_1, doit être affecté du signe —, et, à l'avant-dernière ligne de cette note il faut lire i_1 au lieu de i.

Page 46 : le second membre de l'expression de r_3 doit être multiplié par E; à la ligne suivante il faut lire i_1 et non l_1 dans l'expression de r.

Page 48, 2e colonne : lire w, au lieu de W, pour la lettre représentant le nombre de conducteurs par dent ; à la dernière ligne de texte lire : Dispersion *intérieure* (fig. 11); dans la dernière formule lire x_1 au lieu de x.

Page 49 : dans la note, lire $L = 0{,}5\ L_1$ au lieu de $L_2 = 0{,}5\ L_1$.

Page 50, 1re colonne, ligne 5, lire : dispersion provenant de l'*arbre*, et non de l'*onde*; parmi les données de l'exemple, ajouter $l = 23$ cm.

Page 52, 1re colonne, ligne 10, lire : action de l'*arbre*; 2e colonne, dernière formule, lire β au lieu de p.

Enfin, dans cinq des formules des pages 48, 49 et 50, donnant L, L_1 et L_2, remplacer l_1 par l.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XX. Samedi 29 Juillet 1899 6e Année. — N° 30.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

CONGRÈS ÉLECTROTECHNIQUE DE VIENNE

Le premier congrès des électriciens d'Autriche-Hongrie a eu lieu à Vienne les 16 et 17 juin 1899, sous la présidence de M. le professeur Charles Schlenk, président de la Société des Electriciens de Vienne.

Environ 400 membres y ont pris part ; le ministre du commerce et des délégués des autres ministères y assistaient.

On voit, par le programme du Congrès que nous donnons ci-dessous, que d'importantes questions ont été abordées. Nous donnerons une analyse des rapports et communications ainsi que des discussions auxquelles ont donné lieu, d'après le compte rendu très détaillé des travaux du Congrès qu'a publié le *Zeitschrift fur Elektrotechnik* dans ses deux numéros spéciaux des 14 et 25 juin.

Nous nous occuperons aujourd'hui du rapport de M. F. Ross, sur les prescriptions de sécurité concernant les grandes installations.

PROGRAMME DU CONGRÈS

Jeudi 15 *juin.*

Ouverture du Congrès.

DISCUSSIONS

a. Prescriptions pour les grandes installations ; rapporteur, M. F. Ross.

b. Communication sur le projet de monopolisation des forces hydrauliques ; rapporteur, M. le Dr Ch. Beurle.

c. Règlement du droit de concession pour l'industrie électrique ; rapporteur, M. le Dr Horten.

COMMUNICATIONS

a. Description des deux nouvelles stations centrales de téléphones de Vienne, par M. Barth von Wehrenalp.

b. Sur un système de traction électrique à courants alternatif et continu combinés et en particulier le système Déri, par M. l'ingénieur F. Eichberg.

EXCURSIONS

Vendredi 16 *juin.*

DISCUSSIONS

a. Création d'un bureau d'inspection pour la sur-

veillance des installations électriques ; rapporteur, M. E. Kolben.

b. Rapport sur la loi pour les grandes installations, à présenter devant le conseil de l'Empire ; rapporteur, M. le conseiller d'Empire J. Kareis.

c. Sur l'exemption d'impôts pour la benzine employée pour les moteurs dans les installations électriques ; rapporteur, M. l'ingénieur L. Loos.

d. Création d'une statistique des installations électriques ; rapporteur, M. R. Hiecke.

e. L'utilité du choix d'une échelle précise pour les compteurs d'électricité ; rapporteur, M. le Dr Sahulka.

COMMUNICATIONS

a. Télégraphie sans fil avec expériences ; par M. de Tuma.

b. La lampe Nernst avec expériences, par M. le Dr Moriz von Hooz.

c. Nouveaux enroulements triphasés, par M. l'ingénieur G. Ossanna.

EXCURSIONS

MESURES DE SÉCURITÉ A PRESCRIRE POUR LES GRANDES INSTALLATIONS

D'après les conclusions du Comité de la Société des Électriciens de Vienne.

Rapporteur : M. F. Ross.

Les questions de réglementation ayant un intérêt surtout local, nous nous sommes attachés à rechercher les quelques points des règlements adoptés par le Congrès qui diffèrent de ceux en vigueur dans les autres pays.

1. *Dynamos et moteurs.* — On définit d'une façon générale comme haute tension, une tension alternative au-dessus de 300 volts, ou une tension continue au-dessus de 600 volts.

Les prescriptions d'isolation et de sécurité de circulation, imposées pour les machines à haute tension, s'étendent à des machines de quelque tension que ce soit, lorsqu'elles sont placées dans des endroits humides.

Chaque appareil, dynamo, moteur, transformateur, etc., doit porter une plaque où soient inscrits distinctement la tension de régime, la puissance, le nombre de tours par minute et le nom du fabricant.

2. *Transformateurs.* — Doivent être enfermés si la tension primaire ou secondaire dépasse 300 volts ; les caisses dans lesquelles on les place doivent être en matières incombustibles. L'isolation entre le primaire et le secondaire et entre les enroulements et les noyaux de fer doit pouvoir résister pendant 1 heure au double de la tension de régime si cette tension est inférieure à 3 000 volts, à une fois et demie si cette tension est supérieure.

3. *Accumulateurs.* — Défense d'employer des matières inflammables, celluloïd, etc., pour les batteries transportables.

4. *Appareillage.* — On doit considérer l'élévation de température comme trop grande lorsqu'elle peut faire fondre la paraffine.

Dans les installations humides le marbre ne suffit pas comme isolant.

La résistance d'isolement doit être supérieure à 250 000 ohms.

5. *Instruments de mesure.* — Dans les installations de plus de 10 kilowatts, le voltmètre, dans le voisinage de la tension normale, doit être exact à 2 p. 100 près.

Pour les conducteurs de plus de 500 m de long et une puissance de plus de 10 kilowatts, ou, pour une tension supérieure à 200 volts, il faut un indicateur de terre.

6. *Résistances et appareils de chauffage.*

7. *Tableaux de distribution.* — En matière isolante et ininflammable, sauf pour les installations provisoires au-dessous de 500 volts.

Partout où un ouvrier peut se trouver au voisinage de la haute tension, il faut ménager un chemin bien isolé d'au moins 1 m de large.

8. *Parafoudres.* — Dans les installations à câbles aériens, il faut installer des parafoudres d'après les principes suivants :

a) Pour les conducteurs aériens sur lesquels il n'y a pas de branchements, au commencement et à la fin de la ligne.

b) Dans les cas de réseaux locaux, au point d'arrivée du courant. Pour les grands réseaux, le rayon d'action d'un parafoudre ne doit pas dépasser 1 000 m.

Pour les tensions au-dessus de 500 volts, les prises de terre doivent être assurées par un câble isolé, pénétrant dans le sol à une profondeur de 3 m et ayant une section *minimum* de 30 mm² pour le cuivre et 60 mm² pour le fer.

9. *Conducteurs.* — Un tableau donne les intensités admissibles pour les différentes sections ; dans certains cas on peut adopter une intensité 1,5 fois plus grande.

Suivent quelques données sur des types d'isolations normales.

10. *Appareils de sûreté.* — Les conducteurs mis à la terre de même que les conducteurs neutres dans les distributions à plusieurs fils ou polyphasées ne doivent pas comprendre d'appareils de sûreté.

Un tableau donne les sections de métal fusible à prendre suivant les différentes intensités.

11. *Conducteurs aériens.* — Les conducteurs aériens de cuivre doivent avoir une section *minimum* de 10 mm² ; avec le bronze on peut se permettre une réduction de section, mais il faut que la charge de rupture soit supérieure à 200 kg.

Pour une tension supérieure à 1 000 volts, la section *minimum* est de 20 mm² pour le cuivre et la charge de rupture de 400 kg pour le bronze.

Pour protéger les réseaux télégraphiques et téléphoniques il faut disposer des filets ou berceaux et les mettre à la terre.

Dans le cas de conducteurs parallèles la plus petite distance à admettre d'axe en axe δ est donnée par les formules suivantes :

TENSION DE RÉGIME en volts.	VALEURS DE δ en mm.
Jusqu'à 10 000.	$100 + \frac{1}{200} a$
De 10 à 20 000.	$150 + \frac{1}{200} a$
Au-dessus de 20 000. . .	$200 + \frac{1}{200} a$

a = distance en mètres de deux supports consécutifs.
δ ne devant jamais être inférieure à 150 mm.

12. *Câbles pour canalisation souterraine.* — La résistance d'isolement de ces câbles doit être de 100 mégohms par km sous 100 volts.

Pour une tension au-dessus de 600 volts, les câbles doivent pouvoir supporter pendant 15 minutes une tension dépassant de 50 p. 100 la tension de régime sans que cette tension d'épreuve puisse être inférieure à 2 000 volts.

13. *Conducteurs dans les bâtiments.*

14. *Appareils d'éclairage et lampes.* — L'isolement par appareil ne doit pas être inférieur à 250 000 ohms.

Pour les lampes à arc les câbles doivent être calculés pour une intensité de 50 p. 100 supérieure à l'intensité normale.

15. *Isolation des installations.* — La résistance d'isolement du réseau par rapport à la terre ou entre deux parties dudit réseau, doit être au moins égale à $5\,000 \frac{E}{I}$ ohms où E est la plus grande différence de potentiel en volts entre les conducteurs et I le courant en ampères.

Pour les mesures d'isolement faites avec des courants continus par rapport à la terre, le pôle — de la source doit, si c'est possible, être connecté avec le conducteur à mesurer et on ne doit effectuer la mesure que lorsque le conducteur a été soumis pendant une minute à la tension donnée. Quelques

restrictions suivent pour la résistance d'isolement des installations faites dans des locaux humides (teintureries, brasseries, etc.).

16. *Exécution des plans.* — Pour chaque grande installation on doit dresser les plans suivants :

a) Pour les stations centrales et les sous-stations, le schéma des connexions ;

b) Pour les transports à grande distance et les réseaux, un plan indiquant la position des sous-stations, transformateurs, interrupteurs, fusibles, parafoudres, etc. ;

c) Pour les lieux d'utilisation ; Plan et schéma des connexions.

α. Position, section et isolement des conducteurs ;

β. Dispositifs de pose et de protection ;

γ. Positions des appareils et des sûretés ;

δ. Emplacements des transformateurs ; lampes, électromoteurs ;

ε. Description de la place qu'on a pu ménager pour augmenter ou modifier éventuellement l'installation.

Suivent les signes conventionnels à adopter dans l'établissement deces plans.

17. *Règles générales de protection dans l'exploitation.*

a) Installations à haute tension.

α. Surveillance.

β. Précautions à prendre pour la protection du personnel.

b) *Accumulateurs.*—Précautions à prendre :

α. Contre les accidents dus à l'électricité ;

β. Contre les accidents dus aux acides ;

γ. Contre les gaz et vapeurs ;

δ. Contre les accidents dus au plomb.

Telles sont les grandes lignes du projet présenté par le comité. Dans la discussion qui a précédé son acceptation, M. le Dr Langer, a fait quelques remarques sur la nécessité de préciser la différence entre une petite et une grande installation, et donne comme exemple les distinctions faites par la loi suisse de 1889.

(*A suivre.*)

P. Diény.

ACCUMULATEURS POUR AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES [1]

IV. — Accumulateurs Phœbus (A. Kaindler, constructeur)

La description de ces accumulateurs ayant déjà été publiée dans ce journal (*Supplément* du 1er octobre 1898, t. XVII, p. 1), nous n'en rappellerons que les principales caractéristiques.

Le grillage en plomb antimonié supportant la matière active est formé de deux cadres parallèles (fig. 1), dont l'écartement est maintenu constant au moyen d'entretoises passées dans des trous, en nombre variable suivant les dimensions des plaques. De la sorte, la matière active constitue non plus une réunion de pastilles isolées pouvant s'échapper de leurs alvéoles, mais une masse consistante remplissant de part et d'autre les cases des grillages, dans lesquels elle se trouve maintenue avec beaucoup plus de solidité. La figure 2 donne la disposition du montage d'un élément.

Dans la construction des cadres pour accumulateurs d'automobiles, M. Kaindler a agrandi les dimensions des mailles en réunissant deux mailles contiguës par la suppression de la barrette de séparation ; il a pu ainsi diminuer le poids sans diminuer d'ailleurs la durée des plaques. Il construit deux types d'éléments dont les dimensions et poids sont indiqués dans le tableau I.

En augmentant la densité généralement

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 22 juillet, p. 94.

TABLEAU I. — *Dimensions et poids des accumulateurs Phœbus.*

TYPE			A	B
Nombre de plaques positives			6	6
» de plaques négatives			7	7
Plaques	largeur	mm.	95	100
	hauteur	»	160	190
	surface (2 faces)	dcm².	3,04	3,80
	surface positive totale d'un élément	»	18,24	22,80
	dimensions des pastilles	mm².	20 × 25	23 × 23
Poids	plaques d'un élément	kg.	7,580	9,490
	plaques, liquide et récipient	»	10,780	13,210
	d'une batterie de 44 éléments	»	474	581,240

TABLEAU II. — *Débit, capacité, puissance, etc., des accumulateurs Phœbus.*

TYPE		A		B	
Densité de l'électrolyte	avant décharge	26° B	35° B	26° B	35° B
	après décharge	21° B	30° B	21° B	30° B
Durée de la décharge		5 h	5 h	5 h	5 h
Débit en ampères	par dcm² de surface positive	0,90	1,15	0,90	1,15
	par kg de plaque	2,13	2,8	2,16	2,80
	par kg d'élément	1,53	2	1,58	2
	par élément	16,4	21	20,52	26,22
Force électromotrice par élément, en volts		1,9	1,9	1,9	1,9
Puissance en watts	par kg de plaque	4,11	5,26	4,11	5,26
	par kg d'élément	2,89	3,7	2,96	3,8
	par élément	31,16	40	39	49,81
	pour 44 éléments	1 371	1 760	1 716	2 191
Capacité en amp.-heure	par kg de plaque	10,81	13,8	10,81	13,8
	par kg d'élément	7,70	9,9	7,70	10
	par élément	82	105	102,6	131,1
Énergie en watts-heure	par kg de plaque	20,55	26,3	20,55	26,3
	par kg d'élément	14,54	18,5	14,84	18,8
	par élément	155,80	200	195	249
	pour 44 éléments	6855	8 800	8 580	10 956
Énergie en chevaux-heure pour 44 éléments		9,31	11,95	11,80	14,88
Poids en kg par kilowatt	en plaques	243	190	243	190
	en éléments	345	269	327	265
Poids en kg par kilowatt-heure	en plaques	48	38	48	38
	en éléments	69	53	67,7	52
Poids en kg par cheval-heure	en plaques	35,8	27,9	35,8	27,9
	en éléments	50,9	39,7	49,2	39

adoptée pour l'électrolyte il a augmenté la puissance et la capacité de ses accumulateurs. Le tableau II donne les débit, puissance, capacité de ces accumulateurs pour des densités de l'électrolyte de 26 et 35° B avant décharge. Si l'on calcule la vitesse que l'on

Tableau III. — *Essais au régime de décharge de 8 ampères.*

TYPE	A	B
Durée de la décharge	11 h 15 m	15 h 45 m
Capacité d'un élément	91 amp : h	126 amp : h
Énergie disponible par élément	173 watts : h	239 watts : h
— par batterie de 48 éléments	7 612 »	10 516 »

peut obtenir d'une automobile d'un poids total de 1 000 kg marchant sur une bonne route en palier, et portant une batterie de 44 éléments du type A, on trouve 13,7 km : h

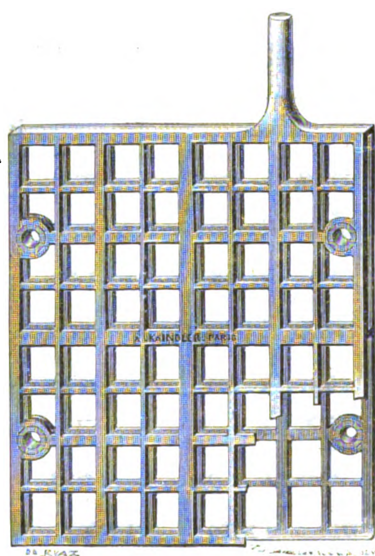


Fig. 1. — Plaque de l'accumulateur Phœbus.

lorsqu'on emploie de l'eau acidulée marquant 26° B avant décharge et 17,7 km : h lorsqu'on prend de l'eau acidulée marquant 35° B ; dans le premier cas le parcours de la voiture est limité à 68 km ; dans le second il s'élève à 88 km.

Des essais faits au régime de 8 ampères avec des éléments des types A et B contenant de l'eau acidulée à 26° B avant décharge ont

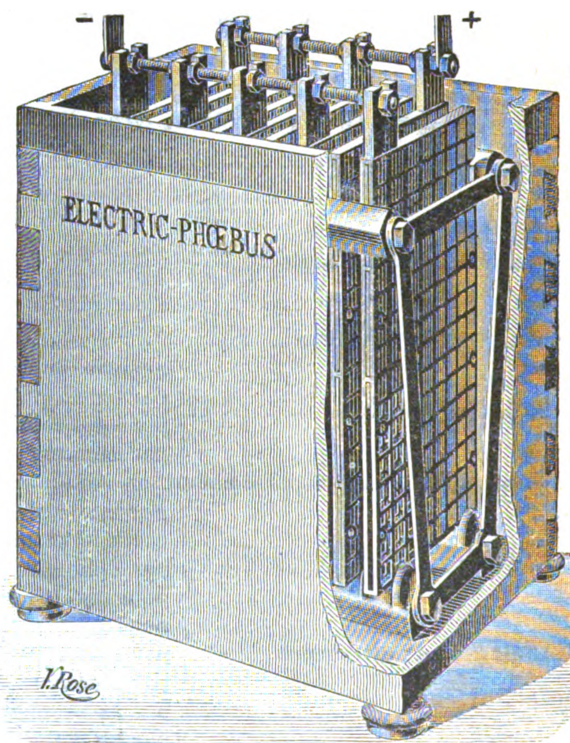


Fig. 2. — Accumulateur Phœbus.

donné les résultats indiqués dans le tableau III.

(*A suivre.*)

J. Reyval.

LA STÉRILISATION DE L'EAU PAR L'OZONE

Les propriétés bactéricides de l'ozone, connues depuis longtemps et nettement mises en évidence en 1881 par M. James Chappuis (¹), ont fait entrevoir la possibilité de nombreuses applications de l'ozone. M. Gaston Séguy paraît avoir été l'un des premiers à songer à les appliquer à la stérilisation de l'eau, toutefois ce n'est qu'en 1891 que l'attention a été appelée sur cette application par l'important travail de M. Frölich sur l'ozone (²). Depuis cette époque la stérilisation de l'eau au moyen de l'ozone a été l'objet de nombreux travaux parmi lesquels il convient de citer particulièrement ceux de M. Ohlmüller, publiés en 1893 (³) et qui ont été mentionnés dans ce journal (⁴), et ceux de M. van Ermengen effectués avec les appareils de stérilisation de MM. Schneller, van der Sleen et Tyndal et publiés en 1895 (⁵).

Les résultats de ces différents travaux montraient nettement l'action efficace de l'ozone sur les eaux contaminées. L'appareil exposé par M. Tyndal, à l'Exposition d'hygiène de Paris, organisée au Champ de Mars en 1895, montrait en outre qu'il était permis d'envisager l'application industrielle de ce traitement; cet appareil permettait en effet de traiter efficacement environ deux mètres cubes d'eau à l'heure. Mais une démonstration sur une plus grande échelle était encore nécessaire pour qu'on pût juger de la valeur pratique du procédé. Cette démonstration a été faite l'an dernier à Lille par MM. Marmier et Abraham.

L'usine de stérilisation installée à Lille par MM. Marmier et Abraham, avec la collaboration de M. X. Gosselin, permet en effet de traiter 35 m³ d'eau par heure. Elle comprend trois parties : 1° les appareils producteurs de courant; 2° les appareils producteurs d'ozone; 3° les appareils de stérilisation.

Les appareils producteurs de courant, installés par MM. Hillairet-Huguet, comprennent un alternateur et un transformateur donnant une tension efficace de 30 000 volts entre les bornes du secondaire.

« La production de l'ozone est assurée par deux appareils distincts : un ozoneur et un déflagrateur à tiges. Entre les tiges de ce déflagrateur jaillit une série d'*étincelles efficaces* dont une des fonctions consiste à assurer entre les pôles de l'ozoneur un potentiel régulier.

» L'ozoneur est constitué de la manière suivante : une électrode, une glace, un intervalle, une glace, une électrode, une glace, un intervalle, une glace, une électrode, etc. Les électrodes sont métalliques; chacune présente deux surfaces planes opposées ; ces surfaces sont parfaitement dressées ; sur chacune d'elles s'applique exactement une glace. Toutes les électrodes de rang pair sont reliées à un des pôles du transformateur, celles de rang impair à l'autre pôle. Des précautions particulières ont été prises pour assurer l'isolement parfait de ces deux séries d'électrodes, pour des potentiels bien supérieurs à ceux employés habituellement. C'est dans les intervalles des glaces que jaillit l'effluve, d'une belle couleur violette ; sous son action, l'oxygène de l'air se transforme en ozone. Grâce à un dispositif spécial, on n'extrait de l'appareil que de l'air ayant traversé l'effluve sur une longueur fixée d'avance ; toutes les particules d'air ont donc été soumises à une action uniforme de l'ozone. La réfrigération des électrodes se fait *d'une façon continue, sans aucune interruption, à la fois dans les deux séries d'électrodes* (¹). *L'isolement parfait est néan-*

(¹) *Bulletin de la Société chimique de Paris*, 1881.
(²) *L'Éclairage Électrique*, t. I, p. 500, 24 nov. 1894.
(³) *Arb. a. d. k., Gesundh.*, t. VIII.
(⁴) *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 348, 21 nov. 1896.
(⁵) *Ann. Inst. Pasteur*, 1895.

(¹) M. Andréoli a revendiqué, comme étant sa propriété.

moins assuré, et il n'y a jamais de court circuit dans l'appareil. Ceci est obtenu en coupant la colonne d'eau réfrigérante, au moyen de deux séries d'appareils à gouttes.

» Au sortir de l'ozoneur, l'ozone est envoyé dans une grande colonne en maçonnerie. C'est dans cette colonne qu'il rencontre l'eau à stériliser. La stérilisation est obtenue, grâce à une circulation méthodique de l'ozone et de l'eau. L'eau s'échappe au bas de cette colonne et se rend dans les réservoirs de l'usine élévatoire de la ville de Lille. Un déversoir calibré est établi sur le parcours de cette eau pour pouvoir mesurer son débit. »

En décembre dernier l'Administration municipale de Lille nomma une Commission chargée de donner son avis sur les résultats obtenus par MM. Marmier et Abraham [1]. L'analyse chimique d'échantillons d'eau prélevés le 12 décembre dernier, avant et après traitement par l'ozone, donna les résultats suivants :

	Eau non traitée par litre.	Eau ozonée par litre.
	gr.	gr.
Matières organiques (évaluées en acide oxalique)	0,014	0,003
Matières organiques (en oxygène, procédé A. Levy) . . .	0,00088	0,00080
Acide azotique (en nitrate de potassium, procédé Schlœsing)	0,34	0,030
Acide azotique (procédé Grandval et Lajoux)	0,020	0,019
Acide nitreux (par la métaphénylène-diamine)	»	»
Acide nitreux (par la résorcine) .	0,0005	0,003
Ammoniaque (par le réactif de Nessler)	»	»
Oxygène dissous	0,0097	0,0098

les électrodes à circulation d'eau. M. Abraham a fait remarquer que ces électrodes ont été l'objet d'un brevet de M. Tisley, pris en 1873, et sont par suite devenues la propriété de tout le monde. Nous renvoyons ceux de nos lecteurs que cette question de priorité pourrait intéresser à l'article de M. Andréoli publié par *L'Électricien* du 13 mai 1899 et aux lettres de M. Abraham et de M. Andréoli publiées par le même journal le 27 mai et le 1er juin.

(1) Cette commission était composée de :

MM. Docteur Staes-Brame, adjoint au maire de Lille, Président ;

Docteur Roux, membre de l'Institut, membre de l'Académie de médecine, sous-directeur de l'Institut Pasteur ;

Buisine, professeur de chimie industrielle à la Faculté des sciences de Lille ;

Docteur Calmette, directeur de l'Institut Pasteur de Lille, professeur à la Faculté de médecine de Lille ;

Bouriez, expert chimiste.

Les docteurs Roux et Calmette furent chargés du contrôle bactériologique ; MM. Buisine et Bouriez de l'étude chimique des eaux avant et après le traitement par l'ozone.

On voit par ces chiffres que l'effet de l'ozone est de diminuer la proportion de matières organiques et qu'il n'augmente pas, ainsi qu'on pouvait le craindre, la teneur en nitrates.

L'analyse bactériologique de l'eau soumise au traitement a donné lieu à deux séries d'expériences, faites, la première du 10 au 25 décembre 1898, l'autre, du 17 janvier au 12 février 1899. Les résultats des essais sont résumés dans le tableau ci-joint.

Pour chaque essai les chiffres de la première colonne indiquent les nombres de matras ou ballons ensemencés ; ceux de la seconde les volumes d'eau, en cm^3, mis dans chaque ballon ou matras ; ceux de la troisième les nombres de germes trouvés après 15 jours de culture à 36° pour les bouillons ou 7 jours à 23° pour les gélatines. Tous ces germes sauf un sont des germes de Baccilus subtilis ; l'autre germe, trouvé dans l'un des matras à gélatine de l'essai B, est une moisissure.

Au moment des prises d'échantillons le débit de la colonne d'eau était de 35 m^3 par heure. L'air employé à l'ozonation contenait par litre : 5,8 mgr d'ozone (essai A) ; 6,5 mgr (essais B, C et C') : 6 mgr (essais D et E) ; 9,3 mgr (essai F) ; 9,5 mgr (essai G et G'). La température à l'intérieur de l'ozoneur était de 20° et de 18° au moment des prises d'échantillons des quatre premiers essais, la température extérieure étant alors 13° et 12° ; la température extérieure étant tombée vers 0°, celle de l'intérieur de l'ozoneur n'était plus que de 13° environ au moment des prises des échantillons des derniers essais.

Les ensemencements ont été faits presque aussitôt après les prises pour les essais A, B, C, F et G ; l'essai C' a été effectué sur des

Résultats des essais bactériologiques.

Milieux de culture	Essai A			Essai B			Essai C			Essai C'			Essai D			Essai E			Essai F			Essai G			Essai G'		
Bouillon de viande neutre.	10	0,5	0	10	1	0	5	1,3	1	5	1	0	17	1,2	0	2	7	0	20	1,2	0	11	1,4	0	6	1	0
»	5	1	1	5	0,5	0	5	4	1	5	0,5	0				1	13	0	4	3	0	15	2,2	1	6	2	0
»	1	11	1	5	1,3	1	1	11	0							1	15	0	4	3,5	0	2	13	1	1	8	0
»	1	12	0	3	4	0	1	21	1										5	4	0	1	9	0	3	10	1
»	2	13	0																2	12	1	2	10	0	1	11	0
»																			1	16	1	1	15	0	1	12	1
»																						2	18	1	1	13	1
»																						1	25	1	3	14	1
Gélatine nutritive.	5	1	0	3	1,5	2	4	1,5	0	4	1	0							7	3	0	6	2,2	0	2	20	1
»	5	2	0				3	4	0										3	5	0						
Nombre des germes.	**2**			**3**			**3**			**0**			**0**			**0**			**2**			**4**			**5**		
Volume d'eau employée dans chaque essai, en cm³.	74			35.5			76,5			11,5			204			42			146			192,6			175		

échantillons pris en même temps que ceux de l'essai C, mais conservés pendant 4 jours à 18° avant ensemencement ; l'intervalle de temps séparant le moment de la prise de celui de l'ensemencement a été de 24 heures pour l'essai D et de 36 heures pour l'essai E; les échantillons de l'essai G' ont été pris en même temps que ceux de l'essai G mais ont été conservés 48 heures avant ensemencement.

Il est à remarquer que l'eau ozonée est d'autant plus pauvre en germes que les ensemencements sont effectués plus longtemps après le prélèvement des échantillons. Les quelques germes qui ont pu échapper à l'action de l'ozone dans l'ozoneur succombent donc ensuite ou en tout cas ne peuvent se multiplier. Toutefois, ce fait ne peut être attribué à la formation par l'ozone de substances chimiques empêchant la pullulation des germes, car 373 cm³ d'eau ozonée conservés trois jours au laboratoire et 68 cm³ d'eau brute, laissés en contact pendant deux jours avant ensemencement en gélatine donnèrent à l'essai bactériologique 1 340 germes par centimètre carré.

L'analyse bactériologique d'échantillons d'eau non traitée, prélevés en même temps que ceux d'eau ozonée, donna les chiffres suivants pour le nombre de germes par centimètre cube d'eau après 7 jours en gélatine : 2 200, 3 960, 1 170, 988.

Si l'on compare ces chiffres avec ceux obtenus en analysant les échantillons d'eau ozonée, l'efficacité complète du traitement apparait immédiatement [1]. Il est d'ailleurs à

[1] Les conclusions du rapport de la Commission sont très nettes à cet égard. Voici ces conclusions :

En résumé, l'ensemble des analyses bactériologiques et chimiques que nous avons effectuées, pendant la période qui s'étend du 10 décembre 1898 au 12 février 1899, nous conduit à conclure que :

1° Le procédé de stérilisation des eaux d'alimentation par l'ozone, basé sur l'emploi des appareils ozoneurs et de la colonne de stérilisation de MM. Marmier et Abraham, est d'une efficacité incontestable, et cette efficacité est supérieure à celle de tous les procédés de stérilisation actuellement connus, susceptibles d'être appliqués à de grandes quantités d'eau.

2° la disposition très simple de ces appareils, leur robus.

***

remarquer que les quelques germes de Baccilus subtilis qui subsistent sont tout à fait inoffensifs pour l'homme et les animaux.

Mais pour qu'un procédé de stérilisation de l'eau puisse être appliqué, il ne suffit pas qu'il soit efficace : le chauffage de l'eau à 110° est aussi un procédé efficace, et cependant il ne saurait être appliqué autrement que sur de faible quantités d'eau, pour des raisons qu'il est inutile d'indiquer. Il faut encore qu'il soit pratique et d'un coût peu élevé. Le procédé de MM. Abraham et Marmier satisfait-il à ces deux conditions ?

On peut répondre qu'il est pratique. Il résulte en effet du rapport dont nous venons de parler que les appareils ont marché d'une manière continue depuis le commencement de juillet 1898 pendant tout le jour, et qu'ils ont fonctionné jour et nuit pendant les 10, 11 et 12 décembre soit pendant 70 heures.

Quant au prix de revient du traitement, nous n'avons pu obtenir aucun renseignement à ce sujet de MM. Marmier et Abraham [1].

---

tesse, la constance de leur débit, et la régularité de leur fonctionnement donnent toutes les garanties que l'on est en droit d'exiger d'appareils vraiment industriels.

3° Tous les microbes pathogènes ou saprophytes que l'on rencontre dans les eaux étudiées par nous, sont parfaitement détruits par le passage de ces eaux dans la colonne ozonatrice. Seuls, quelques germes de Bacillus subtilis résistent.

On compte environ un germe appartenant à cette espèce par 15 cm^3 d'eau traitée avec une concentration d'ozone égale à 6 mgr. par litre d'air. Avec une concentration de 9 mgr., le nombre des germes de B. subtilis, revivifiables par la culture en bouillon, s'abaisse à moins de 1 pour 25 cm^3 d'eau traitée.

Il importe d'observer que le B. subtilis (microbe du foin) est tout à fait inoffensif pour l'homme et pour les animaux ; et, d'ailleurs, les germes de ce microbe résistent à la plupart des moyens de destruction, tels que le chauffage à la vapeur sous pression à 110°. Il n'est donc pas utile d'exiger sa disparition complète des eaux destinées à la consommation, et nous considérons comme très suffisante la stérilisation obtenue par l'air ozonisé avec une concentration de 5 à 6 mgr par litre, dans les conditions où se placent MM. Marmier et Abraham.

4° L'ozonisation de l'eau n'apporte dans celle-ci aucun élément étranger, préjudiciable à la santé des personnes appelées à en faire usage. Au contraire, par suite de la non-augmentation de la teneur en nitrates, et de la diminution considérable de la teneur en matières organiques, les eaux soumises au traitement par l'ozone sont moins sujettes aux pollutions ultérieures, et sont, par suite, beaucoup moins altérables. Enfin, l'ozone n'étant autre chose qu'un état moléculaire particulier de l'oxygène, l'emploi de ce corps présente l'avantage d'aérer énergiquement l'eau et de la rendre plus saine et plus agréable pour la consommation, sans lui enlever aucun de ses éléments minéraux utiles.

5° En ce qui concerne la ville de Lille, notre avis est qu'il y a lieu de recommander à l'Administration municipale l'adoption du procédé de MM. Marmier et Abraham, lequel, ainsi que nous en avons acquis la certitude, assurerait l'innocuité absolue et permanente des Eaux d'Emmerin qui alimentent l'agglomération lilloise.

Nous pensons aussi, qu'étant donnée la sécurité de ce mode d'épuration, la ville de Lille trouverait un avantage immédiat à augmenter le débit des sources actuelles par le simple apport d'eaux de rivière, ou de canaux du voisinage, grossièrement filtrées par une digue de sable, et stérilisées ensuite en même temps que l'eau des sources, au moyen des appareils ozoneurs.

Quelle que soit la profondeur à laquelle seront creusées les galeries souterraines de captation actuellement projetées aux environs de Lille, on ne peut affirmer que l'homogénéité du sol sera assez parfaite pour mettre sûrement l'eau collectée à l'abri des infiltrations de la surface.

Les galeries, percées dans la craie, qui alimentent la ville de Reims, nous en fournissent un exemple. La teneur en germes et en matières organiques de l'eau qui s'y trouve captée varie dans des proportions considérables (de 2000 à 5000 germes par cm^3, et de 12 à 40 mgr. de matières organiques par litre), et la fièvre typhoïde produit de fréquents ravages dans la population de cette ville.

La captation des eaux profondes, au moyen des galeries, ne donne donc pas aux hygiénistes une sécurité beaucoup plus grande que la captation des eaux superficielles.

Nous pensons, en conséquence, que, pour éviter la propagation des maladies infectieuses par l'eau d'alimentation, celle-ci doit, si elle est exposée à des pollutions, être stérilisée par un procédé efficace, tel que celui dont nous avons pu contrôler les résultats dans le présent rapport.

[1] Connaissant la puissance de l'installation et sachant que le débit d'eau ozonée est de 35 m^3 par heure, on pourrait en déduire le nombre de watts-heure nécessaire au traitement de 1 m^3, le seul point d'ailleurs intéressant, le rendement des appareils en ozone étant indifférent. Malheureusement, ni le rapport de la Commission d'essai, ni la communication à l'Académie des Sciences, dans laquelle MM. Marmier et Abraham faisaient connaître les conclusions de ce rapport, ne donnent à dessein, semble-t-il, de renseignements sur cette puissance. Cette absence de renseignements est regrettable, car, ou le prix de revient du traitement est faible, et alors MM. Marmier et Abraham doivent, aussi bien pour leur propre intérêt que pour celui des nombreuses populations encore réduites à boire des eaux impures, s'empresser de le faire connaître ; ou il est prohibitif, et dès lors il est inutile d'attendre qu'une exploitation sur une grande échelle vienne nous l'apprendre. Comme il paraît que cette dernière hypothèse n'est pas fondée, nous espérons que MM. Marmier et Abraham ne tarderont pas plus longtemps à répondre à cette unique question : Combien de watts-heure, mesurés sur le circuit primaire, ont été néces-

Suivant M. Andréoli [1], M. Marmier aurait déclaré au Congrès qui a eu lieu à Liège en août dernier, que la stérilisation revient, à Lille, à 2 centimes par mètre cube d'eau. C'est, nous semble-t-il, un prix qui n'a rien d'onéreux, surtout si l'on tient compte du prix de vente de l'eau.

M. Andréoli, qui a fait des expériences de stérilisation d'eaux très riches en microbes (eaux d'égout diluées, ou cultures de microbes résistants additionnées d'eau) prétend qu'il arriverait à un prix moins élevé. Dans les expériences de M. Andréoli, l'eau à épurer passe successivement dans une série de cuves; l'air ozoné est envoyé par une soufflerie au fond de la dernière cuve et traverse successivement les autres cuves en suivant un chemin inverse de celui que suit l'eau. Les résultats de ces expériences sont indiqués dans le tableau suivant qui donne le nombre de watts-heure dépensés par mètre cube et les nombres de germes par centimètre cube avant et après le traitement.

M. Andréoli fait observer que souvent le contact du liquide et de l'air ozoné n'était pas parfait dans ses appareils d'essais, et que l'air s'échappant de la dernière cuve contenait encore de l'ozone. Aussi il estime à 140 watts-heure la quantité d'énergie nécessaire pour stériliser complètement un mètre cube d'eau ne contenant pas une trop grande quantité de germes.

Comme nous ignorons à quel prix est estimée l'énergie électrique dans le prix de revient de 2 centimes par mètre cube indiqué par M. Marmier, nous ne saurions être aussi

NATURE DU LIQUIDE	Watts-heure par m³.	Microorganismes par cm³.	
		Avant.	Après.
Eau d'égout diluée	221,32	22 000	0
»	237,6	24 000	10
»	237,6	22 000	0
»	220	18 000	10
»	237,6	27 000	10
»	237,6	22 000	0
»	220	15 000	40
»	316,6	3 500	0
»	286	40 000	0
»	286	110 000	40
»	196,24	6 000	0
Culture diluée de B. Communis.	167,2	40 000	40
»	152,24	50 000	0
»	176	14 000	0
»	176	13 000	20
»	176	11 500	0
Culture diluée de B. Fluorescens Liquefaciens . .	156,4	7 000	0
Culture diluée de B. Communis.	166	3 000	10
»	166	2 600	10
»	147,4	3 600	10
»	138	13 000	0
Culture de B. Communis et eau d'égout.	138	16 000	10
»	138	15 000	40

affirmatifs que M. Andréoli sur la question de savoir si le dispositif de ce dernier est plus ou moins économique que celui de MM. Marmier et Abraham. Tout ce qui nous paraît pouvoir être déduit des expériences de M. Andréoli c'est qu'elles confirment une fois de plus la possibilité de stériliser l'eau au moyen de l'ozone même lorsque l'eau contient un grand nombre de germes et que le coût n'est nullement hors de proportion avec l'importance des résultats obtenus.

J. Blondin.

saires pour stériliser un mètre cube d'eau dans les conditions des expériences de Lille?

(1) *The Electrical Review*, de Londres, t. XLIV, p. 749, 5 mai 1899.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Dispositif électromagnétique Siemens et Halske de régulation de la pression des roues de friction des locomotives de chemin de fer à rail central (1).

Lorsque l'adhérence des roues motrices sur les rails de roulement ne suffit pas pour produire l'effort de traction nécessaire sur les fortes rampes de chemins de fer de montagne, on emploie ou bien le système à crémaillère avec pignon denté ou bien le système à rail central avec roues de friction. Dans ce dernier cas la pression des roues de friction sur le rail central, produite par des ressorts, reste généralement constante et égale à celle qui correspond à l'effort de traction maximum. Il résulte de cette pratique une perte d'énergie assez considérable lorsqu'on n'a besoin que d'un faible effort de traction, ainsi qu'une usure exagérée du rail.

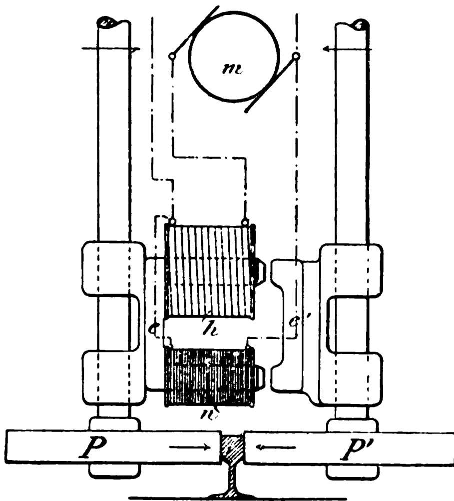


Fig. 1. — Régulateur de pression des roues de friction.

Quand on utilise la traction électrique cet inconvénient peut être facilement évité au moyen du dispositif suivant qui permet de proportionner la pression à l'effort de traction :

Sur l'arbre de l'une des roues de friction P (fig. 1) est fixée, au moyen d'une douille, la culasse *e* d'un électro-aimant; sur l'arbre de l'autre roue P' est fixée, de la même manière, l'armature *e'* de cet électro-aimant. L'enroulement *h* de ce dernier étant intercalé en série avec le moteur en actionnant les roues PP', la force attractive sur l'armature et par suite la pression des roues de friction sur le rail central croissent en même temps que l'intensité du courant traversant le moteur et par conséquent en même temps que l'effort de traction. En calculant convenablement les dimensions de l'électro-aimant on peut d'ailleurs faire en sorte que la pression reste sensiblement proportionnelle à l'effort tracteur.

Comme la force attractive d'un électro-aimant décroît très vite quand l'intensité du courant d'excitation descend au-dessous d'une certaine valeur, il est bon, pour obtenir une pression encore suffisante avec un faible courant dans le moteur, de mettre sur les noyaux un second enroulement *n* en dérivation sur le circuit principal du moteur. J. R.

(1) Brevet anglais n° 2175, déposé le 21 janvier 1899, accepté le 4 mars 1899.

Attache Bostock et Cheetham pour fils de garde des lignes de tramways à trôlet aérien (1).

Lorsque les fils de garde que l'on dispose au-dessus des conducteurs aériens d'un réseau de traction et de distribution viennent à se rompre et à tomber sur les conducteurs d'alimentation on ne peut dégager les parties rompues sans arrêter le passage du courant. L'attache imaginée par MM. Bostock et Cheetham a pour but d'obvier à cet inconvénient.

(1) Brevet anglais n° 12890, déposé le 9 juin 1898, accepté le 8 avril 1899.

Cette attache se compose d'un bloc *a* (fig. 1 et 2) suspendu par l'anneau *b* au poteau ou

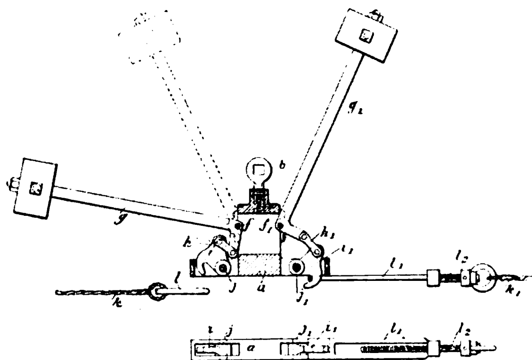


Fig. 1 et 2.

à la console supportant les conducteurs d'alimentation. Les extrémités des fils de garde *k* et k_1 sont fixées, soit directement comme *k*, soit par l'intermédiaire d'une tige filetée l_2 comme k_1, à des attaches *l* et l_1. Dans les trous de ces attaches s'engagent les crochets i, i_1 pivotés en j, j_1 et reliés par des bielles *h* et h_1 aux extrémités de leviers coudés *f* et f_1 dont les grandes branches *g* et g_1 sont munies de contrepoids. Lorsque le fil de garde est suffisamment tendu entre les attaches de deux poteaux ou consoles consécutifs la tension maintient relevées les grandes branches des leviers coudés, comme en g_1, et le fil de garde reste attaché. Mais si le fil se rompt, la tension sur le crochet cesse, le levier coudé s'abaisse comme on l'a représenté en *g* et *l* se dégage du crochet *i*, de sorte que la portion *k* du fil de garde tombe sur le sol.

J. R.

Interrupteur Barton avec fil fusible (1).

Les figures 1 à 3 donnent une élévation, une vue de dessus et une vue de dessous de ce modèle d'interrupteur. Les couteaux A, fixés sur une monture isolante, sont munis de vis B avec écrous entre lesquelles on tend, dans une rainure E, le fil fusible C. La monture est recourbée à sa partie supérieure

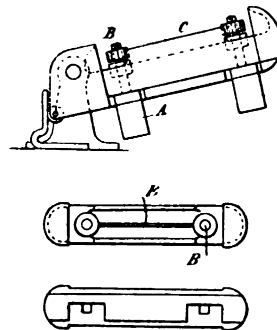


Fig. 1.

de manière à arrêter les projections au moment où le fil fond.

J. R.

(1) Brevet anglais n° 7895, déposé le 2 avril 1898, accepté le 19 mars 1899.

Pertes par frottement dans les machines électriques;

Par G. Dettmar (1).

L'auteur rappelle d'abord qu'il a autrefois démontré que les pertes par frottement ne sont pas proportionnelles au nombre de tours, mais qu'elles croissent très rapidement en même temps que la vitesse angulaire. Comme on était porté à croire que les pertes dues au frottement dans les paliers étaient strictement proportionnelles à la vitesse, on attribuait cet écart à l'influence de la ventilation. Cette façon de voir n'est pas exacte, attendu que contrairement aux idées admises, le coefficient de frottement est très variable.

Avant de décrire ses recherches, l'auteur rappelle les trois méthodes que l'on peut employer pour la mesure des pertes par frottement.

Ce sont : 1° l'emploi d'un moteur étalonné ; 2° l'étude de la marche à vide ; 3° l'amortissement de la machine lancée au préalable à une vitesse donnée.

L'emploi du moteur étalonné est très avan-

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, nos 22 et 23, année 1899, p. 380.

tageux et très exact, si l'on a soin : 1° de commander la machine à étudier par accouplement direct pour éviter l'influence perturbatrice de la courroie; 2° de faire travailler le moteur à faible charge, afin de ne pas avoir à tenir compte de pertes additionnelles dans le fer.

L'auteur se propose d'insister surtout sur la troisième méthode.

Étant donné la difficulté de calculer le moment d'inertie d'un corps tournant tel que l'induit d'une machine électrique, cette méthode se prête mal à la détermination de la valeur absolue des pertes par frottement, mais avec cette restriction, elle s'applique parfaitement à l'étude des valeurs relatives, et permet en particulier de se rendre compte rapidement de la valeur mécanique des paliers d'une série de dynamos identiques, qui ayant le même moment d'inertie, ont par suite la même force vive disponible pour une même vitesse de lancement. En observant la régularité du mouvement aux derniers tours qui précèdent l'arrêt, on verra facilement si la machine présente plus ou moins de balourd, une machine mal équilibrée étant caractérisée par ce fait que ces derniers tours sont irréguliers et que l'arrêt a toujours lieu dans la même position.

Un autre avantage de cette méthode est le peu de temps qu'elle exige, ce qui est très important, car la température restant facilement constante dans cet intervalle, on n'a pas à tenir compte des perturbations qu'entraineraient les variations de température, et qui sont considérables, comme on le verra plus loin.

Désignons par K le moment d'inertie du corps tournant, ω la vitesse angulaire, n le nombre de tours par minute $\left(\omega = \frac{2\pi n}{60}\right)$, la force vive à un moment donné quelconque, est $\mathcal{T} = \frac{1}{2} K\omega^2$. Si on considère ce qui se passe à deux instants différents t_1 et t_2 séparés par l'intervalle de temps $t_2 - t_1$, le travail de frottement est

$$F = \mathcal{T}_1 - \mathcal{T}_2 = \frac{K}{2}(\omega^2_1 - \omega^2_2) = \frac{K}{2}\frac{4\pi^2}{60^2}(n^2_1 - n^2_2)$$

ou

$$F = C_1 (n^2_1 - n^2_2)$$

et la puissance de frottement est

$$F_m = \frac{F}{t_2 - t_1} = C_1 \frac{n^2_1 - n^2_2}{t_2 - t_1}.$$

L'obtention des valeurs relatives de F_m se ramène donc à la mesure de la vitesse à un instant donné; le meilleur moyen d'effectuer cette mesure pour les machines électriques est d'utiliser, si on le peut, le magnétisme rémanent, en lisant les volts engendrés sous son influence au moyen d'un voltmètre très sensible, volts qui sont proportionnels aux vitesses. On déterminera le coefficient de proportionnalité, en comparant le voltmètre à un tachymètre, avant d'abandonner la machine à elle-même et en supprimant ensuite le tachymètre.

Pour déterminer la loi de variation du coefficient de frottement dans les paliers, en supprimant autant que possible la ventilation, l'auteur a opéré sur une transmission, munie de trois paliers et portant un cône destiné aux essais de dynamos, très lisse, dont le plus grand diamètre était seulement 295 mm. Deux des paliers avaient un diamètre intérieur de 90 mm et une portée de 150 mm, pour l'autre ces dimensions étaient 100 mm et 150 mm.

Les coussinets étaient en deux pièces en fonte recouverte de métal antifriction.

La transmission était accouplée directement au moyen de deux plateaux à un moteur électrique pourvu d'un volant, l'accouplement pouvant être facilement rompu. On tenait compte de l'augmentation de force vive due à l'accouplement de la transmission, qui était de 8 p. 100 environ.

La figure 1 représente les courbes d'amortissement et la figure 2 les courbes des coefficients de frottement.

Vu la faible durée de chaque expérience, la température y était regardée comme constante. On en déduit le résultat suivant :

PREMIÈRE LOI. — *A température et pression spécifique constantes pour le palier, le coeffi-*

cient de frottement croît proportionnellement à la racine carrée de la vitesse de l'arbre, et

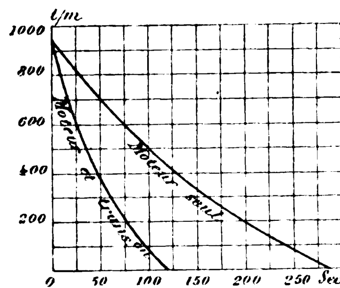


Fig. 1.

le travail de frottement suivant la puissance 1,5 *de cette vitesse.*

Les essais de Tower effectués avec cinq espèces d'huiles et publiés dans le *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, 1885, p. 839 et 840, confirment cette loi et démontrent que la nature de l'huile n'a pas d'influence sur

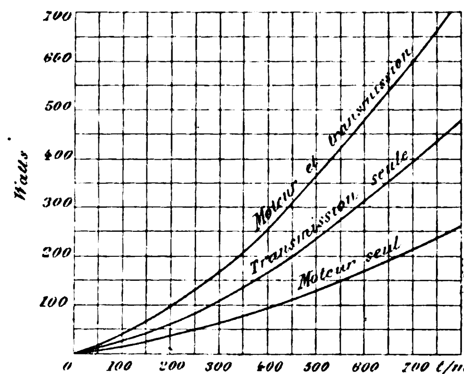


Fig. 2.

son exactitude, mais modifie seulement la grandeur du coefficient.

La table I donne les résultats relatifs à l'huile d'olive.

TABLEAU I.

PRESSION sur le tourillon en kg par cm².	RÉSULTATS	ESSAIS AVEC L'HUILE D'OLIVE TEMPÉRATURE 32°					
		1,07 m	1,33 m	1,60 m	1,86 m	2,13 m	2,39 m
	Observés	0,0010	0,0012	0,0013	0,0014	0,0015	0,0017
36,6	Calculés	0,0010	0,00118	0,00123	0,00132	0,00141	0,0015
	Observés	0,0013	0,0014	0,0015	0,0017	0,0018	0,0020
32,9	Calculés	0,0013	0,00145	0,00159	0,00172	0,00184	0,00195
	Observés	0,0014	0,0015	0,0017	0,0019	0,0021	0,0024
29,2	Calculés	0,0014	0,00157	0,00172	0,00185	0,00198	0,0021
	Observés	0,0016	0,0017	0,0019	0,0020	0,0022	0,0025
25,5	Calculés	0,0016	0,00179	0,00196	0,00212	0,00226	0,0024
	Observés	0,0017	0,0019	0,0021	0,0022	0,0024	0,0027
21,8	Calculés	0,0017	0,0019	0,00208	0,00225	0,0024	0,00255
	Observés	0,0020	0,0023	0,0025	0,0026	0,0029	0,0031
18,1	Calculés	0,0020	0,0024	0,00245	0,00265	0,00283	0,0030
	Observés	0,0025	0,0028	0,0030	0,0033	0,0036	0,0040
14,4	Calculés	0,0025	0,00276	0,00306	0,00331	0,00353	0,00375
	Observés	0,0035	0,0040	0,0044	0,0047	0,0050	0,0057
10,8	Calculés	0,0035	0,00387	0,00429	0,00463	0,00495	0,00525
	Observés	0,0055	0,0063	0,0069	0,0077	0,0082	0,0089
7,03	Calculés	0,0055	0,00611	0,00674	0,00728	0,00778	0,00825

On voit que la coïncidence est satisfaisante entre l'expérience et le calcul. Il y a une restriction à faire à la loi : pour une certaine vitesse faible en général et variable avec la pression et la température, le coefficient de frottement est constant et décroît ensuite proportionnellement à la vitesse. Ce point critique est en général tellement bas qu'il n'est pas à considérer (0,25 m par seconde dans les essais de l'auteur).

Dans une série d'expériences, la puissance que la loi fixe égale à 1,5, a varié entre 1,3 et 1,53, les plus basses valeurs se rapportant aux plus petites machines, dans lesquelles, d'ailleurs, le frottement des balais est relativement plus important, et comme à ce frottement correspond un travail proportionnel à la vitesse, l'abaissement de l'exposant se trouve ainsi bien expliqué.

De la table I on déduit la table II :

TABLEAU II.

PRESSION sur le tourillon en kgm par cm².	COEFFICIENT de frottement.	PRODUIT
36,6	0,0013	0,0476
32,9	0,0015	0,0494
29,2	0,0017	0,0496
25,5	0,0019	0,0485
21,8	0,0021	0,0458
18,1	0,0025	0,0452
14,4	0,0030	0,0431
10.8	0.0044	0,0475
7.3	0,0069	0,0485

ce qui donne la loi :

DEUXIÈME LOI. — *A température et vitesse de l'arbre constantes, le coefficient de frottement est inversement proportionnel à la pression spécifique du tourillon sur le coussinet, de telle sorte que le travail perdu par frottement est indépendant de cette pression, tant que celle-ci ne dépasse pas une valeur maximum, variant avec la nature de l'huile entre* 30 *kgm et* 44 *kgm par cm².*

Pour une pression de 29,2 kgm/cm², une vitesse d'arbre de 1,6 m/sec et une température du palier de 32° C, les coefficients de frottement et les limites de la loi sont

	Coefficients.	Pressions limites.
Huile d'olive et huile de saindoux.	0,00172	37 kgm cm²
Huile de blanc de baleine	0,00208	30 »
Huile minérale.	0,00176	44 »
Graisse minérale. . . .	0,00233	44 »

Dans les machines électriques, à cause des fortes vitesses, on se tient toujours dans les limites d'application de la loi.

Une conséquence de cette loi est que la tension de la courroie n'introduit aucune perte supplémentaire, à condition que la pression sur le coussinet reste dans les limites indiquées.

TABLEAU III

Huile de saindoux. — Pression 7,03 kg/cm².

TEMPÉRATURE C	RÉSULTATS	COEFFICIENTS DE FROTTEMENT POUR UNE VITESSE A LA SECONDE DE							
		0,533 m	0,800 m	1,07 m	1,33 m	1,60 m	1,86 m	2,13 m	2,39 m
48.9	Observé. .	0,0024	0,0029	0,0035	0,0040	0,0044	0,0047	0,0051	0,0054
	Observé. .	0,0026	0,0032	0,0039	0,0044	0,0050	0,0055	0,0059	0,0064
43.4	Calculé . .	0,00271	0,00327	0,00394	0,00448	0,00496	0,00530	0,00575	0,00610
	Observé. .	0,0029	0,0037	0,0045	0,0051	0,0058	0,0065	0,007[illegible]	0,0077
37,8	Calculé . .	0,00311	0,00375	0,00453	0,00516	0 00569	0,00608	0,00660	0,00699
	Observé.	0,0034	0,0043	0,0052	0,0060	0,0069	0,0077	0,0085	0,0093
32,2	Calculé . .	0,00364	0,00439	0,00532	0,00608	0,00668	0,00714	0,00775	0,00820
	Observé.	0,0040	0,0052	0,0063	0,0073	0,0083	0,0093	0,0102	0,0112
26,7	Calculé . .	0,00440	0,00531	0,00641	0,00732	0,00806	0,00861	0,00934	0,00989
	Observé. .	0,0048	0,0065	0,0080	0,0092	0,0103	0,0115	0,0124	0,0133
21,1	Calculé .	0,00556	0,00672	0,00811	0,00928	0,01012	0,01089	0,01182	0.01252
	Observé. .	0,0059	0,0084.	0,0103	0,0119	0,0130	0,0140	0,0148	0,0156
15,6	Calculé . .	0,00752	0,00909	0,01110	0,01252	0,01379	0,0473	0,01599	0,01693

TABLEAU IV.

TEMPÉRATURE C	COEFFICIENTS de frottements trouvés.	PRODUIT
48,9	0,0044	0,215
43,4	0,0050	0,217
37,8	0,0058	0,219
32,2	0,0069	0,222
26,7	0,0083	0,222
21,1	0,0103	0,218
15,6	0,0130	0,203

L'examen des tables 3 et 4 conduit à la conclusion :

TROISIÈME LOI. — *A pression spécifique et vitesse de l'arbre constantes, le coefficient et le travail de frottement sont inversement proportionnels à la température du palier.*

Si l'on remarque que la température du palier dépend du travail dépensé en frottements, c'est-à-dire du nombre de tours, on voit que les formules vont se compliquer beaucoup.

D'ailleurs les formules à température constante, plus simples, ont une grande utilité, car le temps nécessaire à un palier pour atteindre sa température normale, correspondant au nombre de tours de l'arbre, est très long, environ 4 heures et demie.

Pour faire l'essai de rendement à un nombre de tours donné, il faudra donc faire tourner la machine au moins pendant 4 heures et demie à ce nombre de tours, et faire alors l'essai par la troisième méthode ; on pourra d'ailleurs admettre que pendant cet essai, vu sa courte durée, la température s'est maintenue à la même valeur.

Si on voulait faire rapidement des essais relatifs à plusieurs vitesses, il faudrait tenir compte de la différence des températures d'essai et de fonctionnement normal du palier à la vitesse considérée, au moyen de formules d'ailleurs assez compliquées.

L'auteur aborde alors la prédétermination par le calcul des pertes de frottement dans les machines électriques.

CALCUL DES PERTES PAR FROTTEMENT

1° *Formules à température constante.* — Désignons par μ le coefficient de frottement relatif à la vitesse de l'arbre de 1 m par seconde et à la pression de 5 kgm/cm²; soient : p la pression par cm² sur le coussinet, d le diamètre du tourillon en cm, l la portée du palier en cm, n le nombre de tours de l'arbre par minute, v la vitesse de l'arbre à la périphérie du tourillon, $\mathcal{T}$ la puissance en watts perdue en frottements.

D'après les lois énoncées plus haut, le coefficient de frottement relatif à la pression p et à la vitesse v, sera

$$\mu' = \frac{5\mu}{p}\sqrt{v},$$

μ dépendant seulement de la température du palier et de la nature de l'huile.

D'où l'on déduit

$$\mathcal{T} = 5 \cdot \mu \, dl\sqrt{v^3} \cdot 9{,}81.$$

Or

$$v = \frac{\pi dn}{6000},$$

donc

$$\mathcal{T} = 5 \cdot \mu \, d.l.\sqrt{\frac{\pi^2 d^3 n^3}{6000}}\, 9{,}81.$$

On pourra donc employer, tous calculs faits, l'une ou l'autre des deux formules

$$\left.\begin{aligned}\mathcal{T} &= 49{,}05\,\mu dl\sqrt{v^3}\\ \mathcal{T} &= 0{,}000588\,\mu d^2\sqrt{d}\,l\sqrt{n^3}\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

2° *Formules à température variable.* — Soit T_a la température ambiante, T_ζ l'accroissement de température, dû au frottement, T la température du palier, on a dans ce cas

$$T = T_a + T_\zeta.$$

T_ζ est proportionnel au nombre de watts perdus par cm² de surface frottante, donc si u désigne une constante

$$T_\zeta = u\frac{\mathcal{T}}{\pi dl}$$

****

D'après la troisième loi, le produit μT est constant, désignons-le par S, il vient en portant dans la première des équations (1),

$$\mathcal{T} = 49{,}05 \frac{S}{T} \, dl \sqrt{v^3}, \tag{2}$$

d'autre part

$$T = T_a + T_\tau = T_a + u \frac{\mathcal{T}}{\pi dl},$$

d'où, en portant dans (2), on déduit l'équation du deuxième degré

$$\mathcal{T} T_a + \mathcal{T}^2 \frac{u}{\pi dl} - 49{,}05 \, sdl \sqrt{v^3} = 0,$$

qui donne finalement

$$\mathcal{T} = \frac{-T_a + \sqrt{T_a + 62{,}45 \, uS \sqrt{v^3}}}{0{,}637 \, u} \, d.l. \tag{3}$$

Calculons maintenant l'expression de T_τ, qui est aussi fort intéressante.

$$T_\tau = u \frac{\mathcal{T}}{\pi dl} = -T_a + \frac{\sqrt{T_a^2 + 62{,}45 \, uS \sqrt{v^3}}}{2}. \tag{4}$$

D'où ce résultat remarquable : *l'accroissement de température du palier dépend principalement de la vitesse périphérique du tourillon et nullement de la portée du palier.*

L'accroissement de température que l'on admet pour le palier, au-dessus de la température ambiante, limite donc la vitesse périphérique du tourillon.

Ainsi dans une machine où $S = 0{,}53$ et $u = 25$, si l'on veut $T < 50°$, et que l'on ait $T_a = 20°$ (valeur raisonnable pour une salle de machines), il faut prendre

$$v < 3{,}73 \text{ m/sec.}$$

Pour éviter les formules pénibles (3) et (4), on construira la courbe de T_τ en fonction de v ; pour chaque cas on formera $T_a + T_\tau$, on en déduira μ, puisque $\mu T = S$ constante connue ; l'équation (3) donnera, S étant connu, les pertes par frottement.

La figure 3 donne les valeurs de μ aux différentes vitesses pour une série de machines de grandeurs différentes, sans considération de température, la courbe moyenne correspond à la puissance 0,5.

$$\mu = 0{,}01414 \qquad S = 0{,}53.$$

Les constantes sont $\mu = 0{,}1414$ $S = 0{,}53$.

PERTES PAR VENTILATION

Bien que ces pertes jouent un rôle moins important que les précédentes dans les ma-

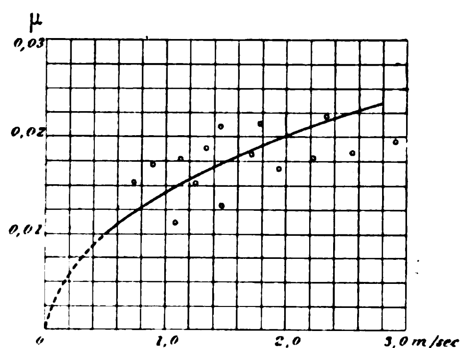


Fig. 3.

chines électriques (exception faite des alternateurs à pôles tournants) et qu'elles soient contenues dans les formules déjà calculées, l'auteur a effectué une série d'essais, pour se rendre compte aussi exactement que possible de leur importance.

Ces essais ont porté sur un moteur électrique Kœrting, muni d'un petit volant qu'on pouvait recouvrir d'une enveloppe tournant avec lui, pour supprimer autant que possible la ventilation, et d'une enveloppe fixe contenant la première, comme le montre la figure 4. La vitesse périphérique du volant, était environ le triple de celle du moteur. Les résultats sont consignés dans la figure 5, après déduction de la perte due au frottement des paliers.

I. Volant sans enveloppe.

II. Volant avec une enveloppe tournante.

III. Volant avec une enveloppe tournante et une enveloppe fixe.

IV. Volant sans enveloppe tournante, mais avec enveloppe fixe.

En comparant I et II, on voit que la ventilation n'est pas importante, et que la perte croît à peu près avec la puissance 1,3 de la

vitesse. A 800 t-m, les pertes par ventilation sont environ 28 p. 100 de la perte par frottement, la vitesse périphérique du volant étant 20,3 m-sec.

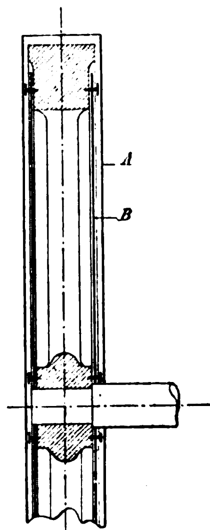


Fig. 4.

Dans les machines à courant continu, cette fraction varie ordinairement de 7 à 9 p. 100, sauf pour les induits allongés, où elle atteint de 9 à 11 p. 100.

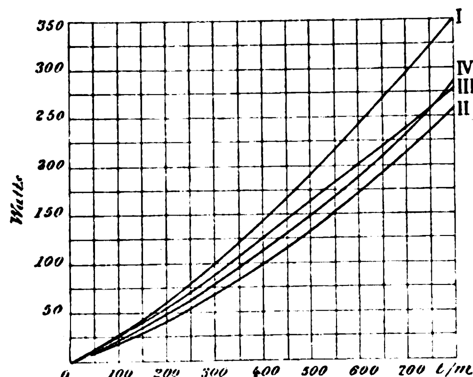


Fig. 5.

FROTTEMENT DES BALAIS

De nombreux essais sur le frottement des balais, ont montré que la courbe des pertes s'écarte un peu de la ligne droite, mais pour ne pas trop compliquer les calculs, et vu la faible erreur qui en résulte, nous adopterons une droite moyenne.

La machine d'essai était une dynamo de 33 kilowatts, accouplée à un moteur étalonné ; son collecteur avait une longueur de 100 mm sur un diamètre de 320 mm.

On a d'abord opéré avec des balais de cuivre, au nombre de 12, présentant chacun une surface de contact de 8 × 28 mm, sous deux pressions différentes : la pression normale, soit environ 355 gr par balai, puis une pression très élevée de 1 170 gr par balai. La figure 6 donne les résultats obtenus ; les valeurs du coefficient de frottement ont été sensiblement les mêmes, soit respectivement 0,31 et 0,29 ; on peut prendre 0,3 en moyenne.

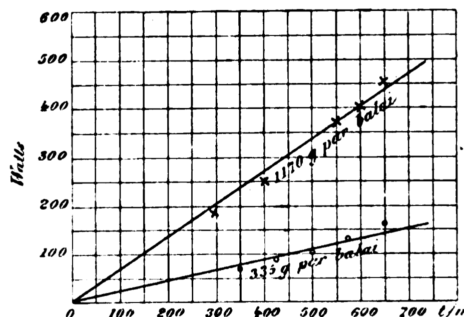


Fig. 6.

Pour les balais de charbon, l'essai a été fait seulement à la pression normale, soit 880 gr par balai. Il y avait encore 12 balais de 15 × 30 mm.

Après trois heures de marche, la perte avait augmenté de 30 p. 100, le coefficient de frottement étant 0,175 au début et 0,227 à la fin. Ce coefficient dépend de la dureté du charbon employé, qui dans ce cas était une bonne moyenne.

Nous sommes maintenant en mesure de calculer l'ensemble des pertes par frottement d'une machine donnée.

Soit une dynamo de 33 kilowatts.

Palier côté du collecteur. $d_1 = 60$ mm $l_1 = 210$ mm
» de la poulie . $d_2 = 75$ » $l_2 = 1260$ »
Nombre de tours 650 t/m.

Alors

$$v_1 = 2{,}04 \text{ m/sec} \qquad v_2 = 2{,}55 \text{ m/sec}.$$

La formule approchée sans correction de température donne

$$\mathcal{T}_1 = 49{,}05\, \mu d_1 l_1 \sqrt{v^3_1} = 254 \text{ watts}$$
$$\mathcal{T}_2 = 49{,}05\, \mu d_2 l_2 \sqrt{v^3_2} = 551.$$

Total 805 watts, pour la perte dans les paliers et par ventilation.

La formule avec introduction de la température, donne pour S = 0,53 et u = 25, en supposant $T_a = 20°$.

$$\mathcal{T}'_1 = \frac{\sqrt{4 + 8{,}3\sqrt{v_1^3} - 2}}{1{,}6}\, d_1 l_1 = 260$$
$$\mathcal{T}'_2 = \frac{\sqrt{4 + 8{,}3\sqrt{v^3_2} - 2}}{1{,}6} = 506.$$

Total 766 watts.

Le frottement dû aux balais se calcule très simplement; il dépend du nombre et de la grandeur des balais, données qui sont réglées par l'intensité du courant.

La table V, se rapportant à plusieurs machines prises au hasard, montre quelle concordance on peut espérer entre l'observation et le calcul.

Comme conclusion, l'auteur donne quelques formules intéressantes, relatives aux dynamos normales destinées à être commandées par courroie.

Si l'on adopte les notations $l_1 l_2 d_1 d_2$ pour les longueurs et portées des paliers en cm, et que l'on désigne par P la puissance de la dynamo en watts, et par $c_3 c_4$ des constantes, on peut écrire, d'après ce qui a été dit plus haut :

$$\mathcal{T}_2 = c_3 l_2 d_2^{2,5} n^{1,5}. \qquad (5)$$

TABLEAU V.

CHARGES en kilowatts.	TOURS par minute.	CALCULS FAITS SANS CORRECTION DE TEMPÉRATURE — PERTES CALCULÉES: Frottement dans les paliers et ventilation.	Frottement des balais.	Frottement total.	Frottement total observé.	Rapport : pertes observées / pertes calculées	CALCULS FAITS AVEC CORRECTION DE TEMPÉRATURE — PERTES CALCULÉES: Frottement dans les paliers et ventilation.	Frottement des balais.	Frottement total.	Frottement total observé.	Rapport : pertes observées / pertes calculées
0,55	2 000	35	9	44	52	1,18	38	9	47	52	1,10
1,8	1 700	90	15	105	93	0,89	90	15	105	93	0,89
3,3	1 500	143	15	158	136	0,86	140	15	155	136	0,88
4	800	156	9	165	186	1,13	188	9	197	186	0,94
15	800	345	43	388	387	1	358	43	401	387	0,97
33	650	805	256	1 061	1 020	0,96	766	256	1 022	1 020	1
60	550	1 853	128	1 981	1 400	0,71	1 640	128	1 768	1 400	0,79

Or, d'après une formule empirique donnée par Arnold (*die Ankerwickelungen und Ankerconstructionen der Gleichstrommaschinen*, 3e édition, p. 238 et 239), qui s'applique à ces dynamos

$$d_2 = C_4 \sqrt[3]{\frac{P}{n}},$$

si l'on admet comme ordinairement $l_2 = 3d_2$, l'expression devient

$$\mathcal{T}_2 = C_5 \left(\frac{P}{n}\right)^{1,16} n^{1,5}.$$

Remplaçons la puissance 1,16 par l'unité en modifiant la constante, il vient

$$\mathcal{T}_2 = C_6 P \sqrt{n}.$$

Par suite, comme il en est de même pour l'autre palier

$$\mathcal{T} = \mathcal{T}_1 + \mathcal{T}_2 = (C_6 + C_7)\, P\sqrt{n}$$
$$\mathcal{T} = C_8 P \sqrt{n}, \qquad (6)$$

La valeur de c_8 était, pour des machines rationnellement construites par la maison Gebr. Korting, environ 0,0012.

En faisant intervenir le rendement η de la machine et le pour cent des pertes par frottement $\mathcal{T}p$, on est conduit à la formule

$$\mathcal{T}_p = 100 \frac{\mathcal{T}}{\frac{P}{\eta}} = C_9 \eta \sqrt{\eta},$$

ce qui donne pour $\eta = 0,85$

$$\mathcal{T}p = C_{10}\sqrt{n},$$

c_{10} étant égal à 0,1, pour les machines normales à deux paliers de la maison Korting.

A. M.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Notions pratiques sur le magnétisme;

Par Erich SCHMIDT (¹).

Dans une série d'articles comprenant en tout une soixantaine de pages, M. Schmidt a rassemblé ce qui dans l'étude du magnétisme peut être particulièrement utile aux ingénieurs. La première partie est consacrée à l'exposé rapide de la théorie de l'induction magnétique ; la deuxième, à la description détaillée des procédés de mesure ; les appareils dont il est question ayant été décrits dans *L'Éclairage Électrique* à différentes époques, nous n'y reviendrons pas ici ; l'auteur tire une compétence toute particulière de ce qu'il a utilisé lui-même ces appareils à la Physikalisch-Technischen Reichsanstalt de Charlottenburg. Enfin la troisième partie du travail renferme des exemples relatifs aux différentes variétés du fer et de ses dérivés, empruntés soit à des mesures effectuées dans cet établissement, soit aux travaux antérieurs. Nous indiquerons seulement les résultats les plus nouveaux ou les plus intéressants.

Hétérogénéité des substances magnétiques. — MM. A. Ebeling et E. Schmidt ont étudié un grand nombre d'échantillons (²); ce qui ressort de leurs résultats, c'est une hétérogénéité provenant soit de la distribution non uniforme des substances jointes au fer, soit des différences de traitement mécanique aux différents points d'une même masse. Ainsi les courbes de la figure 1, re-

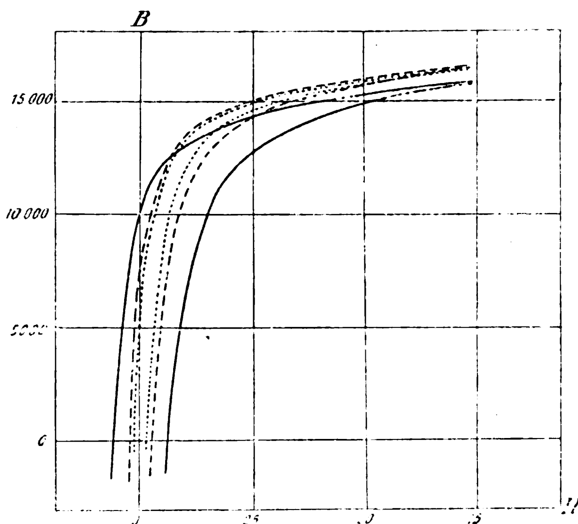


Fig. 1.

présentent les courbes d'induction obtenues, par la méthode balistique, en plaçant la bobine d'étude en trois points différents d'un même barreau de fer forgé. Les substances qui ont été fondues (et non travaillées ensuite) doivent être bien plus homogènes, au point de vue magnétique comme aux autres ; c'est ce qui a été constaté par MM. Ebeling et Schmidt. Ils ont aussi montré que lorsque différents échantillons ont à peu près mêmes propriétés magnétiques, ils ont aussi à peu près même conductibilité électrique, et inver-

(¹) *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. V, nos 18, 22, 27, 35 et 44, de novembre 1898 à mai 1899.

(²) EBELING ET SCHMIDT, *Zeitschr. f. Instrumentenkunde*, t. XVI, p. 77-87; 1896. *Wied. Ann.*, t. LVIII, p. 330-341; 1896. *Écl. Élect.* t. X, p. 180. — EBELING, *Zeitschr. f. Instr.*, t. XVI, p. 87; 1896. *Wied. Ann.*, t. LVIII, p. 342, 1896. *Écl. Élect.*, t. X, p. 180.

sement, de sorte qu'on peut considérer comme suffisamment voisins au point de vue magnétique des échantillons dont les conductibilités ne diffèrent pas entre elles de plus de 1 p. 100. Ils se sont ensuite appuyés sur cette propriété pour étudier plus rapidement l'homogénéité des substances magnétiques. Ainsi 69 échantillons d'acier fondu, d'acier Martin-Siemens et de fer fondu se rangeaient ainsi d'après les différences entre la valeur de leur conductibilité et la moyenne des valeurs :

Pour 41	la différence	était inférieure à	. . .	1 p. 100
» 20	»	»	comprise entre	1 et 2 p. 100
» 3	»	»	» »	2 et 3 »
» 4	»	»	» »	3 et 5 »
» 1	»	»		10 »

On peut atténuer l'hétérogénéité magnétique par un recuit ; mais ce recuit doit être bien uniforme, autrement il risquerait au contraire de l'augmenter : ainsi, un barreau d'abord à peu près homogène ayant été recuit de manière qu'une de ses extrémités fût à environ 1000° et l'autre à peine au rouge, devint très hétérogène. C'est sans doute à ce que le recuit des feuilles de tôle pour transformateur s'opère surtout sur les bords (à cause de l'empilement) qu'est dû ce fait que leurs propriétés magnétiques sont bien meilleures sur les bords qu'au milieu [1].

En résumé, on obtiendra le meilleur résultat possible au point de vue de l'homogénéité magnétique en employant des substances fondues, recuites régulièrement et uniformément ; mais il arrive fréquemment que le recuit ne produit pas d'amélioration bien marquée.

M. Schmidt donne ensuite un grand nombre de renseignements numériques, dont nous indiquerons les principaux.

Substances très magnétiques. — Dans le tableau I sont réunies les valeurs de l'induction pour des échantillons dont les données sont les suivantes :

NUMÉROS des échantillons.	NATURE	SOURCE
1	Fer pur, W.-G. Armstrong et Cie, Elswick .	Lydall et Pocklington. *Proc. R. S. L.*, t. LII, p. 228, 1892 (voir *Écl. Él.*, t. XVIII, p. 39, 1899).
2	Fer de Lowmoor	Ewing, *Proc. of the Inst. of Civil Eng.*, 19 mai 1896.
3	Fer laminé de Suède	Du Bois et Taylor Jones, *Elektr. Zeitschrift*, t. XVII, p. 543, 1896.
4	Fer laminé, Bohler fr. et Cie, Vienne. . . .	*Id.*
5	Acier forgé anglais, R. Jenkins.	Ewing, *l. c.*
6	Acier fondu. F. Krupp, Essen	Moyenne des valeurs obtenues par Ewing et Du Bois et Jones, *l. c.*
7	» Bergische Stahl-Industr., Remscheid	Du Bois et Jones, *l. c.*
8	» Edgar Allen et Cie	Ewing, *l. c.*
9	» Samuel Osborn et Cie.	*Id.*

De ce tableau ressort surtout ceci, c'est que certains aciers fondus atteignent des valeurs de l'induction qui égalent et dépassent parfois celles qu'on obtient avec le fer (le fer très pur de Lydall et Pocklington serait difficilement réalisable dans l'industrie ordinaire). Les propriétés des substances fondues sont bien plus constantes que celles des autres. Ainsi, voici les nombres obtenus par

(1) W. Roehr, *Elektrotechn. Zeitschrift.*, t. XIX, p. 712, 1898. *Écl. Élect.*, t. XVII, p. 448, 1898.

TABLEAU I. — *Valeurs de l'induction.*

H	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	12 700	10 900	12 550	9 500	12 300	10 750	8 900	4 700	9 600
10	14 980	13 120	14 300	12 300	14 920	13 260	11 400	12 250	13 050
15	15 800	14 010	15 000	13 600	15 800	14 250	12 900	14 000	14 600
20	16 300	14 580	15 400	14 300	16 280	14 800	14 000	15 050	15 310
30	16 950	15 280	16 000	15 300	16 810	15 550	15 000	16 200	16 000
40	17 350	15 760	16 450	15 800	17 190	16 080	15 600	16 800	16 510
50		16 060	16 650	16 300	17 500	16 420	16 100	17 140	16 900
60		16 340	16 900	16 700	17 750	16 720	16 500	17 450	17 180
70		16 580	17 200	17 100	17 970	16 950	16 800	17 750	17 400
80		16 800	17 400	17 500	18 180	17 180	17 100	18 040	17 620
90		17 000	17 550	17 800	18 390	17 350	17 400	18 230	17 830
100		17 200	17 700	18 100	18 600	17 530	17 700	18 420	18 030

Ewing pour 5 échantillons d'acier fondu d'Edgar Allen :

TABLEAU II.

H	VALEURS DE L'INDUCTION B				
20	15 200	15 200	15 450	15 500	15 050
30	16 000	16 050	16 200	16 150	16 200
40	16 600	16 450	16 700	16 600	16 800
50	17 000	16 850	17 100	17 000	17 140
60	17 300	17 200	17 450	17 300	17 450
70	17 600	17 500	17 700	17 600	17 750

Le tableau III renferme, d'après le même mémoire d'Ewing, les valeurs de la perméabilité μ pour différents échantillons de fer employés pour les transformateurs et les noyaux des dynamos. L'induction a été déterminée par la méthode balistique, sur des noyaux annulaires formés, pour le premier échantillon de tôle, en l'enroulant sur elle-même, et pour les trois autres, par la superposition de pièces annulaires découpées

TABLEAU III.

B	TOLE DE FER DE SUÈDE pour transformateur. Epaisseur : $0^{mm},33$.		TOLE DE FER DE SUÈDE pour transformateur. Epaisseur : $0^{mm},301$.		TOLE pour transformateur. (Scrap. — Eissen.)		LAMES D'ACIER FONDU pour transformateur.		FIL pour transformateur. Diam. : $0^{mm},602$.	
	H	μ	H	μ	H	μ	H	μ	H	μ
1 000	0,62	1 610	0,81	1 230	1,08	920	0,68	1 470	1,71	590
2 000	0,78	2 560	1,05	1 900	1,46	1 370	0,90	2 230	2,10	650
3 000	0,90	3 340	1,29	2 320	1,77	1 690	1,04	2 880	2,30	1 300
4 000	1,03	3 880	1,54	2 600	2,10	1 900	1,19	3 360	2,50	1 600
5 000	1,18	4 230	1,82	2 750	2,53	1 980	1,38	3 620	2,70	1 850
6 000	1,36	4 410	2,14	2 800	3,04	1 970	1,59	3 770	2,92	2 070
7 000	1,57	4 450	2,54	2 760	3,62	1 930	1,89	3 700	3,16	2 210
8 000	1,85	4 330	3,09	2 590	4,37	1 830	2,25	3 600	3,43	2 330
9 000	2,20	4 090	3,77	2 390	5,3	1 700	2,72	3 310	3,77	2 390
10 000	2,64	3 790	4,6	2 170	6,5	1 540	3,33	3 000	4,17	2 400
11 000			5,7	1 930	7,9	1 390	4,15	2 650	4,70	2 340
12 000			7	1 710	9,8	1 220	5,40	2 220	5,45	2 200
13 000			8,5	1 530	11,9	1 190	7,1	1 830	6,5	2 000
14 000			11	1 270	15	930	10	1 400	8,4	1 670
15 000			15,1	990	19,5	770			11,9	1 260
16 000			21,4	750	27,5	580			21	760

dans les lames. Les différences entre les deux premiers échantillons, formés d'une même matière, proviennent sans doute d'une différence de recuit (le premier avait été en effet recuit avec soin au rouge).

Influence des substances étrangères sur les propriétés magnétiques. — Elle est encore mal connue; M. Schmidt rapporte les résultats obtenus à ce sujet par M. Parshall (¹) qui renferment déjà de nombreux renseignements intéressants. M. Parshall a fait l'analyse précise de tous les échantillons qu'il a étudiés.

La figure 2 donne les courbes d'induction correspondant à deux aciers fondus ayant la composition indiquée; elle montre bien l'influence de la proportion de carbone :

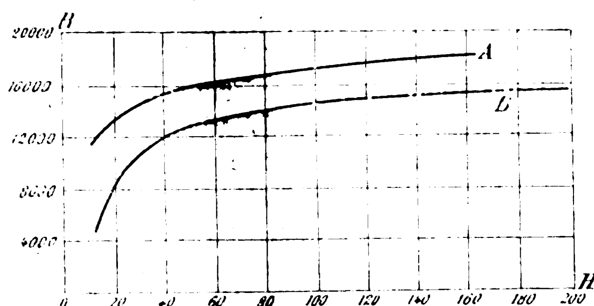


Fig. 2.

	P. 100. A	P. 100. B
Carbone	0,170	0,984
Silicium	0,150	0,167
Soufre	0,020	0,020
Phosphore	0,089	0,095
Manganèse	0,390	0,318

L'influence du silicium est de même nature que celle du carbone, mais moins forte. Ce n'est que dans certains aciers fondus en contenant une forte proportion qu'il diminue d'une manière notable la perméabilité. Il a une action nuisible d'un autre genre quand il est irrégulièrement distribué dans la masse, car il favorise la formation des soufflures.

Le manganèse, jusqu'à la proportion de 0,5 p. 100, ne semble pas avoir d'influence sensible sur les propriétés magnétiques. Cependant d'après certaines expériences de Jackson, il les affaiblirait dès que sa proportion dépasse 0,15 p. 100.

Le soufre et le phospore n'ont pas grande influence avec leur proportion ordinaire ; une proportion plus forte augmente la dureté.

Dans le tableau IV sont résumés les résultats numériques de M. Parshall d'où on a tiré les conclusions précédentes; pour chaque échantillon sont indiqués les résultats de l'analyse.

La présence d'aluminium dans un acier n'a que des avantages: elle le rend un peu plus fusible, plus net, et améliore même un peu ses propriétés magnétiques dans les champs moyens. M. Schmidt donne, d'après M. Parshall, les résultats obtenus avec 12 échantillons d'acier au manganèse. Nous donnerons seulement les valeurs moyennes:

H	15	25	50	75
B	12 900	14 290	15 800	16 490

TABLEAU IV.

1° *Aciers fondus de bonne qualité.*

											Moyenne.
B pour H = 15	12 200	12 000	12 090	12 900	13 000	12 290	13 100	12 090	12 500	13 000	12 500
» 25	14 090	13 590	13 900	14 400	14 600	13 890	14 490	13 700	14 200	14 490	14 100
» 50	15 790	15 300	15 590	15 900	16 600	15 590	16 090	15 390	15 790	16 000	15 800
» 75	16 600	16 200	16 590	16 490	17 590	16 400	17 100	16 290	16 690	16 600	16 700
Carbone	0,240	0,267	0,294	0,180	0,290	0,250	0,200	0,230	0,170	0,180	0,230
Phosphore	0,071	0,052	0,074	0,047	0,037	0,093	0,047	0,100	0,089	0,047	0,066
Silicium	0,200	0,236	0,202	0,120	0,036	0,230	0,170	0,160	0,150	0,120	0,167
Manganèse	0,480	0,707	0,655	0,323	0,550	0,410	0,530	0,450	0,390	0,323	0,482
Soufre	0,040	0,060	0,050	0,050	0,050	0,030	0,030	0,040	0,020	0,050	0,042
Fer	98.969	98.688	98.725	99.280	99.037	98.987	99.023	99.020	99.191	99.280	99.020

(¹) PARSHALL, *Proc. of the Inst. of Civil Eng.*, 19 mai 1896.

2° *Aciers fondus de qualité inférieure.*

											Moyenne
B pour H = 15.	10 600	10 600	10 700	8 990	9 300	10 000	10 400	10 000	9 300	11 300	10 100
» 25.	12 690	12 690	13 100	11 190	11 590	12 090	12 490	12 400	11 800	13 500	12 400
» 50.	14 900	14 600	15 100	13 500	13 900	14 290	14 400	14 690	14 090	15 700	14 500
» 75.	15 900	15 590	15 890	14 400	14 900	15 300	15 300	15 690	15 000	16 490	15 500
Carbone	0,250	0,280	0,195	0,333	0,337	0,366	0,409	0,318	0,702	0,380	0,357
Phosphore	0,087	0,076	0,028	0,059	0,045	0,151	0,066	0,107	0,084	0,066	0,077
Silicium	0,210	0,210	0,683	0,292	0,302	0,476	0,444	0,203	0,409	0,550	0,378
Manganèse	0,790	0,720	0,815	0,681	0,642	0,617	0,640	0,636	0,088	0,790	0,642
Soufre	0,020	0,030	0,040	0,060	0,070	0,040	0,010	0,030	0,050	0,030	0,038
Fer	98,643	98,684	98,239	98,575	98,601	98,350	98,434	98,706	98,663	98,184	98,508

La composition de ces échantillons était :

Carbone	0,180
Phosphore	0,093
Silicium	0,080
Manganèse	0,196
Soufre	0,045
Aluminium	0,113
Fer	99,293

La présence de plusieurs centièmes de nickel améliore les propriétés magnétiques ; (mais une plus faible proportion les atténue au contraire) ; c'est ce que montrent les deux courbes de la figure 3, correspondant à deux aciers A et B de la composition indiquée :

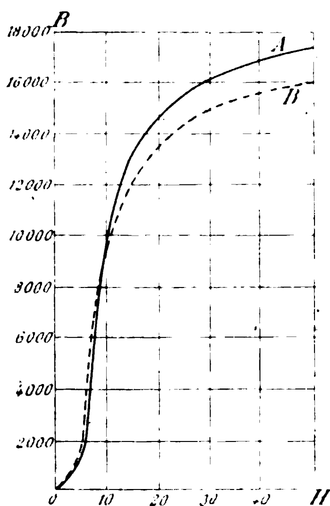


Fig. 3.

	A	B
Carbone	0,27	0,42
Silicium	0	0
Soufre	0,03	0,03
Phosphore	0,04	0,04
Manganèse	0,57	0,58
Nickel	4,7	0,97
Fer	94,39	97,95

Énergie dissipée par hystérésis. — M. Schmidt indique quelques résultats obtenus à la Reichanstalt, et qui ont été exposés dans l'*Écl. Él.*, t. XVIII, p. 304, 1899. L'influence des substances autres que le carbone est mal connue, et l'auteur donne seulement les conclusions de M. Parshall : le silicium n'augmente pas la dissipation d'énergie par hystérésis, au moins quand il n'est pas en proportion très considérable. Il en est de même du manganèse et du soufre, pourvu que leur proportion ne dépasse pas 0,5 p. 100. Le carbone augmente, comme on sait, l'hystérésis. Le phosphore l'augmente aussi, et même beaucoup plus que le carbone. Dans le tableau V sont indiquées les pertes d'énergie en ergs par cm³ pour une induction maximum de 8 000.

Fontes. — On tend à les employer de plus en plus depuis quelques années. Elles contiennent beaucoup de carbone ; mais la seule partie du carbone qui exerce une action notable sur les propriétés magnétiques est celle qui est combinée au fer, et qui est de 0,2 à 0,8 p. 100 ; le carbone non combiné, à l'état de graphite, atteint 2 ou 3 p. 100 ou même davantage, mais les variations de sa proportion influent peu sur les propriétés magnétiques. D'après cela, il est avantageux d'opérer de manière que, sur la proportion de carbone qui doit exister, la plus grande partie possible soit à l'état de graphite.

Le soufre est généralement en petite quantité dans les fontes ; une proportion un peu forte correspond à une proportion assez forte

TABLEAU V.

1° *Fers doux de bonne qualité.*

	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	Moyenne.
Carbone	0,076	0,085	0,072	0,086	0,095	0,078	0,082
Phosphore	0,058	0,052	0,057	0,084	0,075	0,056	0,064
Silicium	Traces	0,005	0,006	Traces	0,007	0,012	0,005
Manganèse	0,297	0,021	0,417	0,320	0,322	0,026	0,236
Soufre	0,060	0,030	0,030	0,040	0,030	0,010	0,033
Dissipation d'énergie pour B = 8 000	2 800	3 100	2 740	3 000	3 300	3 004	3 100

2° *Fers doux (les 4 premiers échantillons) et aciers doux (les 2 derniers) de qualité inférieure.*

	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	Moyenne.
Carbone	0,153	0,063	0,117	0,099	0,090	0,153	0,113
Phosphore	0,032	0,075	0,101	0,135	0,101	0,031	0,079
Silicium	0,007	0,008	0,005	0	0,027	0,002	0,008
Manganèse	0,430	0,036	0,401	0,449	0,449	0,486	0,375
Soufre	0,050	0,030	0,010	0,030	0,030	0,000	0,037
Dissipation d'énergie pour B = 8 000	6 950	9 010	8 510	8 060	8 020	8 020	8 100

aussi de carbone combiné, et à de mauvaises qualités magnétiques.

Le silicium n'entraîne aucune diminution des propriétés magnétiques jusqu'à une proportion d'environ 2 p. 100 ; il semble rendre la matière plus homogène et diminuer la proportion de carbone combiné ; sa proportion varie de 1,8 à 2,5 p. 100. De nouvelles recherches paraissent montrer que la perméabilité de la fonte croît quand la proportion de silicium y augmente de 1,8 à 4,6 p. 100 [1].

Une trop grande proportion de phosphore diminue les propriétés magnétiques ; il ne doit pas y en avoir plus de 0,7 ou 0,8 p. 100.

Le manganèse a peu d'influence.

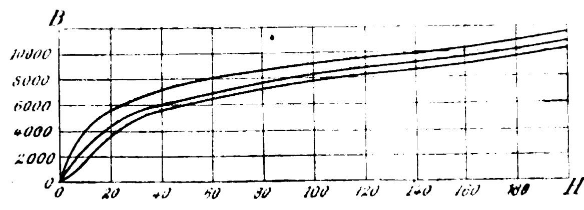


Fig. 4.

	A	B	C
	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Carbone combiné	0,72	0,565	0,195
Graphite	3,3	2,95	3,29
Silicium	2,07	2,05	2,01
Soufre	0,035	0,055	0,060
Phosphore	0,85	0,805	0,988
Manganèse	0,38	0,375	0,320

Dans la figure 4 sont réunies les courbes d'induction pour les trois échantillons de fonte de composition indiquée ci-dessus.

M. Schmidt termine son très intéressant exposé par des détails sur les aciers à aimant, et sur les alliages peu magnétiques, notamment les aciers au nickel ; il nous suffira de renvoyer aux articles publiés sur ces sujets dans l'*Éclairage Électrique* [1]. Ch. M.

[1] Voir *Zeitschrift. für Elektrochemie*, t. V, n° 34, février 1899.

[1] *Aciers à aimants* : DU BOIS et L. TAYLOR JONES, *L'Écl. Élect.*, t. IX, p. 178 et 227, 1896. — Mme CURIE, *L'Écl. Élect.*, t. XV, p. 271 et 501, et t. XVI, p. 117, 1898. — *Aciers au nickel* : CH. ED. GUILLAUME, *L'Écl. Élect.*, t. XVI, p. 287, 1898. — DUMONT, *L'Écl. Élect.*, t. XVI, p. 287, 1898. — Voir aussi : *Le magnétisme du fer*, collection Scientia, Sér. *Phys.-Math.*, n° 2, Carré et Naud, 1899.

Étude, par une méthode interférentielle, de l'influence de l'aimantation sur le module d'élasticité et des variations de longueur causées par l'aimantation ;

Par G.-A. Shakespear.

Le but du travail était surtout la mesure du module d'élasticité et de ses variations avec la température ; mais l'auteur a appliqué son appareil aux études indiquées. Trois fils aussi identiques que possible sont fixés à un disque horizontal et soutiennent un autre disque parallèle au premier ; les franges se produisent entre deux plans solidaires respectivement des deux disques. Cette disposition permet d'étudier l'allongement des fils sous l'influence d'un poids tenseur, d'où la valeur du module d'élasticité. Nous n'exposerons pas ici cette première partie du travail, non plus que la mesure de l'influence de la température.

1° *Influence de l'aimantation sur le module d'élasticité.* — Le champ est produit par le passage d'un courant dans des bobines entourant les fils ; des précautions sont prises pour empêcher la chaleur de Joule produite dans les bobines d'échauffer les fils. Les expériences ont porté sur trois fils de fer de 0,28 cm de longueur et 0,075 cm de diamètre ; elles n'ont pas atteint une grande précision, et l'auteur se propose de les reprendre ; cependant on a observé d'une manière non douteuse une diminution du module dans le champ (de 23 cgs environ).

2° *Influence de l'aimantation sur la longueur des fils.* — Les expériences étaient disposées de même, et ont porté sur les mêmes fils de fer. Dans la figure 1 sont représentés les résultats de deux expériences prises comme exemples entre beaucoup d'autres : le trait plein correspond à l'action progressive du champ, les trois fils étant tendus par un poids de 3 kg ; le trait ponctué, à l'action du champ pour un poids tenseur de 20 kg. En abcisses sont portées les intensités du courant (2 ampères correspondent à un champ d'environ 47 cgs) ; en ordonnées, les variations de longueur, en demi-longueur d'ondes de la lumière du sodium. — On voit que la partie de gauche des courbes cycliques est plus élevée que l'autre, ce qui provient probablement d'une élévation de température, due à l'hystérésis.

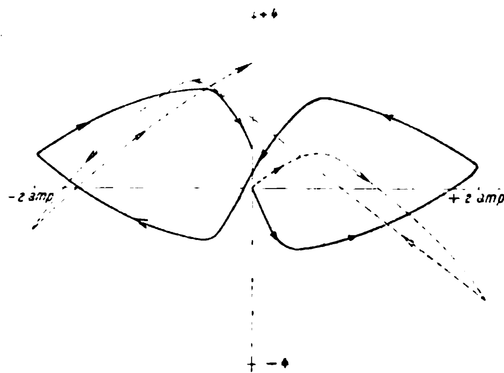


Fig. 1.

Ce dernier résultat suggère à l'auteur une méthode pour mesurer l'hystérésis : on fait passer dans les bobines un courant alternatif de fréquence connue ; il en résulte par suite du phénomène de l'hystérésis une élévation de température des fils, se traduisant par un allongement, et par suite par un déplacement des franges d'interférence ; on fait ensuite passer dans les trois fils un courant continu d'intensité telle que l'échauffement dû à la chaleur de Joule produise le même allongement (le même déplacement dans les franges) ; de l'intensité du courant et de la résistance des fils on déduit la valeur numérique de la chaleur de Joule, et par suite, en divisant par la fréquence, l'énergie dissipée dans un cycle d'hystérésis. Ch. M.

Sur la courbe d'aimantation normale ;

Par W. S. Franklin et S. S. Clarke [1].

Lorsqu'un noyau de fer est soumis à un champ magnétique, on peut le considérer

[1] *The Physical Review*, t. VIII, p. 304 ; mai-juin 1899.

comme en équilibre à chaque instant sous l'action de trois forces :

1° La force magnétisante (en tenant compte du champ démagnétisant) ;

2° Une force coercitive ou d'hystérésis, due au retard magnétique ; si Δh est la quantité d'énergie dissipée par hystérésis quand l'induction varie de B à B + ΔB, cette force coërcitive est $-\frac{\Delta h}{\Delta B}$.

3° Une force agissant en sens inverse de la force magnétisante, dûe à l'énergie potentielle « recouvrable » du noyau, et égale à $\frac{d\omega}{dB}$ si on représente par ω cette énergie par unité de volume.

Or, si l'induction s'est accrue de o à B, la quantité d'énergie totale mise en jeu est

$$W = \frac{1}{4\pi}\int H\, d\, B,$$

et l'on peut écrire

$$W = \omega + h.$$

On pourrait à la rigueur chercher à déterminer h en mesurant la chaleur produite ; mais cela n'est guère pratique que si on opère sur des cycles complets, et alors la somme algébrique ω est nulle, et il reste W = h. Les auteurs emploient le procédé indirect suivant : on construit une courbe d'aimantation en se mettant à l'abri de l'hystérésis ; alors le champ magnétisant H et la force démagnétisante $\frac{d\omega}{dB}$ sont, pour chaque point déterminé, en équilibre, de sorte que la courbe (H,B) devient la courbe $\left(\frac{d\omega}{dB}, B\right)$; en d'autres termes, h est nul, et on a à chaque instant W = ω.

Pour supprimer l'hystérésis, les auteurs, opérant sur un fil, ont construit deux courbes, l'une en désaimantant le fil par un courant alternatif décroissant, après chaque augmentation du champ, l'autre en imprimant au fil des ébranlements par traction. Mais la première courbe seulement s'est montrée réversible ; ils en concluent que les vibrations n'ont pas complètement supprimé h, et qu'au contraire le premier procédé le supprime complètement (dans les limites de leurs expériences, du moins).

La figure 1 représente les courbes d'aimantation obtenues : c, comme à l'ordinaire ; b, lorsqu'on produisait les vibrations par traction ; a, en désaimantant le fil par un courant alternatif, après chaque bond du champ. La figure 2 donne les valeurs de W = ω mesurées en intégrant la courbe a (en ergs par cm³).

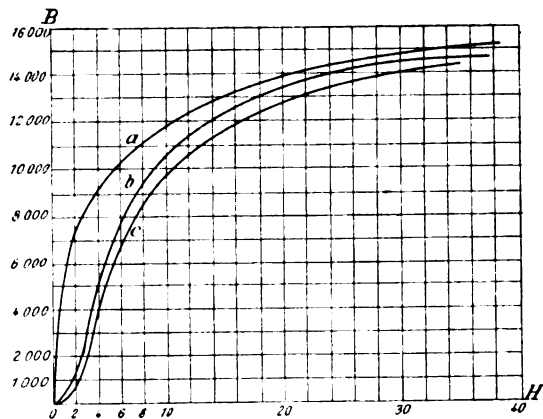


Fig. 1.

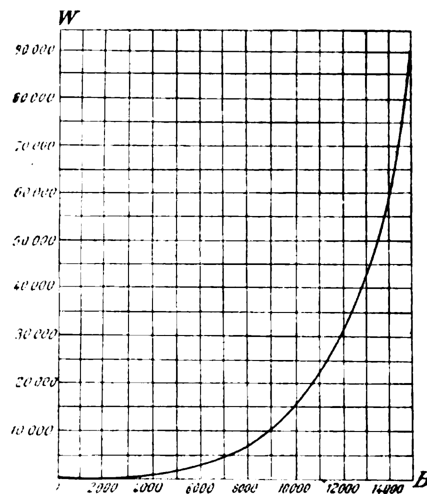


Fig. 2.

CH. M.

Sur les alliages de fer et de nickel ;

Par F. Osmond [1]

Les points de transformation des alliages de fer et de nickel, pour ceux de ces alliages qui contiennent moins de 50 p. 100 de nickel, ont été déterminés, au moyen de différentes méthodes, par MM. Hopkinson [2], H. Le Chatelier [3], Ch. Ed. Guillaume [4], Dumont [5] et par l'auteur [6]. Le même travail restait à faire pour les alliages contenant 50 à 100 p. 100 de nickel ; c'est ce travail que M. Osmond a entrepris.

M. Osmond a déterminé les températures auxquelles les alliages commencent à devenir magnétiques pendant le refroidissement et celles où ils finissent de disparaître pendant le chauffage. Les résultats de ces déterminations sont inscrits dans le tableau suivant.

Composition chimique			Disparition du magnétisme pendant le chauffage.	Apparition du magnétisme pendant le refroidissement.
Carbone.	Manganèse.	Nickel.		
0,19	0,79	0,27	735°	715°
0,19	0,65	3,82	710	628
0,17	0,68	7,65	710	530
0,23	0,93	15,48	623	145
0,16	0,32	24,75	540	27
0,61	0,46	26,20	0	0
0,23	0,49	31,41	138	124
0,46	0,28	35,70	276	232
0,30	0,68	43,04	401	357
0,11	0,38	58,30	557	523
0,08	0,41	69,20	590	557
0,07	0,68	76,75	582	545
0,12	0,38	88,95	488	457
0,09	0,74	92,20	450	415
0,10	0,86	94,70	425	388
0,12	0,55	98,50	384	345

Les échantillons contenant moins de 50 p. 100 de nickel ont été fournis par M. Harfield, par M. Guillaûme et par M. Werth ; les quatre premiers ne sont autres que ceux désignés par A, E, G, J dans le tableau de la note 6. Les échantillons au-dessus de 50 p. 100 ont été spécialement préparés et analysés au laboratoire des aciéries de Denain.

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 304, séance du 30 janvier 1899.

[2] Communication du 16 janvier 1890, à la Société Royale de Londres.

[3] *Comptes rendus*, t. CX, p. 283 et t. CXI, p. 454; 1890.

[4] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 176 et 1515, 1897; t. CXXV, p. 235, 1897; t. CXXVI, p. 738, 1898. — *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 124, 1897; t. XIII, p. 518, 1897; t. XVI, p. 287, 1898; t. XVIII, p. 360, 1899.

[5] *Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 741, 1898.— *L'Éclairage Électrique*, t. XVI, p. 292, 1898.

[6] *Comptes rendus*, t. CXVIII, p. 532, 1894. — Dans cette note l'auteur fait connaître les résultats de ses essais sur les alliages acier-nickel fournis par M. Hardfield et dont la composition chimique est indiquée par le tableau suivant :

Marques	Carbone.	Silicium.	Manganèse.	Nickel.
A. . . .	0,19	0,31	0,79	0,27
B. . . .	0,13	0,23	0,72	0,94
E. . . .	0,19	0,20	0,65	3,82
G. . . .	0,17	0,28	0,68	7,65
J. . . .	0,23	0,24	0,93	15,48
K. . . .	0,19	0,27	0,93	19,64
L. . . .	0,16	0,30	1	24,51
M. . . .	0,14	0,38	0,86	29,07
N. . . .	0,16	0,31	1,08	49,65

Dans ces essais les alliages, portés à une température élevée, ont été abandonnés au refroidissement, et pendant ce refroidissement on a déterminé : 1° les températures auxquelles se produisent des dégagements de chaleur, températures généralement au nombre de trois et que M. Osmond désigne, dans l'ordre croissant, par a_1, a_2, a_3 ; 2° les propriétés magnétiques; 3° les propriétés mécaniques.

L'étude des propriétés magnétiques a montré que l'apparition du magnétisme pendant le refroidissement coïncide avec le point de transformation intermédiaire a_2. Ce point est situé entre 715° et 695° pour A, 695 et 685° pour B: il se confond avec a_3 et est situé entre 645 et 635° pour E; pour les alliages G, J, K, L il n'y a plus qu'un point de ransformation situé vers 510° pour G, vers 125° pour J, vers 75° pour K et à la température ordinaire pour L; enfin pour l'alliage M il n'y a pas de point de dégagement de chaleur et pour l'alliage N il s'en présente un (380° à 340°), mais qui est très faible et paraît appartenir au nickel.

Les alliages A à L sont fortement magnétiques, avec décroissance du magnétisme à partir de G. M est presque non magnétique; il le devient cependant à 70° mais seulement d'une façon temporaire. Le magnétisme réapparaît dans N probablement à la faveur du nickel en excès. J, K et L sont très franchement magnétiques.

L'échantillon L est celui qui se rappproche le plus des

La figure 1 dans laquelle les proportions centésimales de fer ou de nickel sont prises pour abscisses et les températures de transformation magnétique pour ordonnées, résume les résultats des expériences. On voit que la courbe se compose de trois branches : 1° la branche AB, A'B', déjà connue par les travaux antérieurs; 2° la branche montante CD, C'D', déjà déterminée jusque vers l'abscisse 45 surtout par les recherches de M. Guillaume, se continue jusqu'au maximum D,D' ; 3° la courbe descendante DE, D'E' rejoignant le point de transformation du nickel. On voit que les courbes CDE, C'D'E' coïncident presque ; d'ailleurs, l'écart régulier d'une quarantaine de degrés entre ces courbes n'est qu'apparent ; les températures lues sont quelque peu en avance pendant le chauffage et en retard pendant le refroidissement sur les températures réelles. Cette coïncidence des

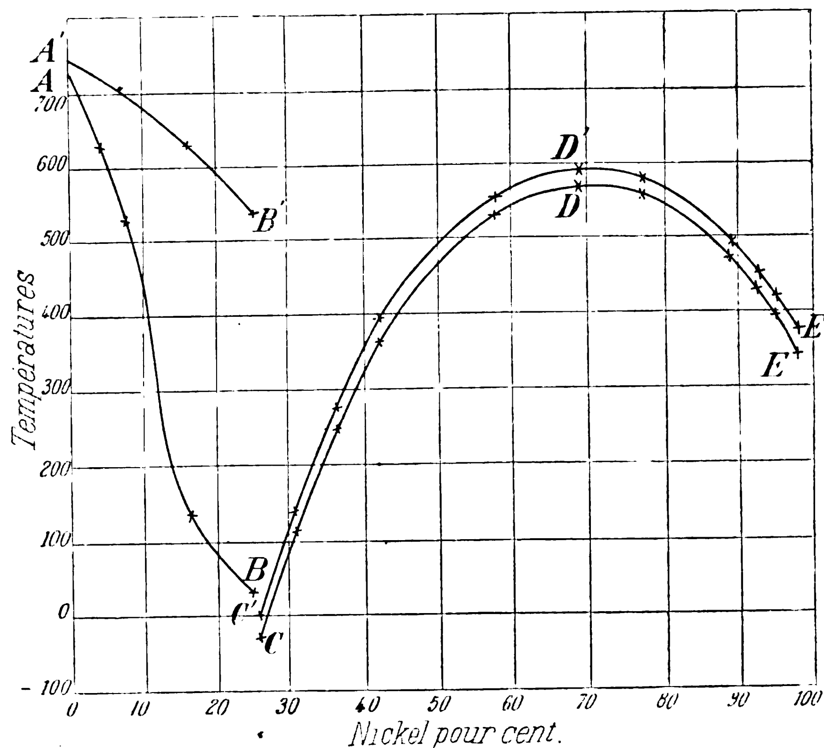


Fig. 1.

courbes est conforme aux résultats des expériences de M. Guillaume et de M. Dumont d'après lesquels les alliages d'une teneur en nickel supérieure à 25 p. 100 (alliages réversibles) perdent et reprennent leurs propriétés magnétiques à la même température.

M. Osmond a observé dans ses mesures que les échantillons de provenance anglaise, dont les points de transformation sont inférieurs à 550° perdent ou prennent leurs propriétés magnétiques en deux temps. Les températures inscrites au tableau et reportées sur la figure sont celles de la phase principale ; la phase secondaire, réversible et relativement très faible, débute à une température pratiquement constante de 550° et croît proportionnellement à la teneur en nickel. Dans les alliages de provenance française on ne retrouve que des traces de cette seconde phase.

alliages étudiés par Hopkinson et par M. Le Chatelier. On peut l'avoir absolument non magnétique si on ne le laisse pas refroidir au-dessous de 50°; il redevient magnétique entre 50° et 0° environ et ne perd ce nouvel état que par un nouveau chauffage au rouge.

M. Osmond ajoute :

« La courbe de refroidissement, si on la considère seule, rappelle beaucoup certaines courbes de fusibilité. Par analogie on pourrait être tenté de croire que le minimum correspond à un alliage entectique et le maximum à un composé défini Ni^2Fe, partiellement dissocié. Ceci sous toutes réserves. La courbe des transformations au chauffage montre en effet, comme on le savait, un énorme hiatus vers 25 p. 100 de nickel. Il n'est pas non plus certain que les deux branches AB, DC se coupent quelque part : M. Guillaume a rencontré dans cette région un alliage qui ne se se transforme pas, même dans l'air liquide : au surplus, ni les expériences de M. Dumont ni les miennes n'ont révélé jusqu'à présent l'existence d'une branche de courbe horizontale au-dessous de zéro, comme le voudrait l'hypothèse d'un entectique. Je compte revoir cette question de plus près.

» Il est à remarquer que l'addition de fer au nickel relève le point de transformation du nickel, tandis que l'addition de nickel au fer abaisse les points de transformation du fer. Ce fait pourrait indiquer une différence de signe dans les changements de volume qui accompagnent les transformations des deux métaux. C'est aussi ce que j'ai l'intention de rechercher. »

De l'effet des basses températures sur certains aciers ;

Par F. Osmond [1].

Dans cette communication, l'auteur fait connaitre les résultats d'expériences qu'il a faites, au laboratoire de chimie générale de la Sorbonne, sur certains aciers amenés aux basses températures produites par l'évaporation de l'air liquide.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1395, séance du 5 juin 1898.

Il rappelle que Hopkinson [1], dès 1890, a décrit un acier à 25 p. 100 de nickel, non magnétique à la température ordinaire qui devenait magnétique à la température de la neige carbonique et gardait ses nouvelles propriétés jusqu'à 580°. Il rappelle également que plus récemment MM. Dewar et Fleming [2] ont constaté des propriétés semblables en expérimentant sur un acier au nickel de M. Harfield contenant 29,07 de nickel avec 0,14 de carbone et 0,86 de manganèse. Lui-même a vérifié les résultats de MM. Dewar et Fleming en opérant sur un échantillon de la même coulée, une barrette de 3,65 cm de longueur pesant 11 gr.

A l'état non magnétique, cette barrette placée sur l'un des pôles d'un électro-aimant traversé par un courant de 5.5 ampères ne porte que 50 gr ; son magnétisme rémanent donne une déviation de 2,5 mm sur l'échelle du magnétomètre ; sa densité à 17° est 8,044. A l'état magnétique, après refroidissement dans l'air liquide, toutes choses égales d'ailleurs, la force d'arrachement est devenue 1 500 gr, la déviation au magnétomètre 81 mm et la densité 7,914.

M. Osmond a également étudié un acier préparé par M. Hardfield et contenant 0,59 de carbone, 5,90 de manganèse et seulement 3,77 de nickel. Une barrette de 3,8 cm pesant 11,945 gr ne se porte pas elle-même sur l'électro-aimant toujours parcouru par un courant de 5,5 ampères ; elle donne au magnétomètre une déviation de 4,1 mm et la densité à 17° est 7,848. Après cinq minutes d'immersion dans l'air liquide, le métal est devenu magnétique : la force d'arrachement, pour une barrette de 3,8 cm pesant 11,660 gr s'élève à 1 kg ; la déviation sur l'échelle du magnétomètre monte à 104,6 mm ; la densité s'abaisse à 7,624. Le métal ainsi transformé garde l'état magnétique jusqu'à 650° environ.

Ces résultats montrent donc que les pro-

(1) *Proc. Roy. Soc.*, t. XLVII, p. 138. — *Journ. Iron and Steel Inst.*, t. I, p. 208, 1896.

(2) *Proc. Roy. Soc.*, t. LX, 1896.

priétés magnétiques de l'alliage de Hopkinson se rencontrent dans d'autres alliages d'une teneur en nickel bien différente. M. Osmond en conclut que l'hypothèse d'un composé défini Fe^3Ni (dont la composition diffère peu de celle de l'alliage de Hopkinson) suggérée pour expliquer ces propriétés particulières, n'est sans doute pas exacte.

« Il y a plus, ajoute-t-il. De même qu'on a pu remplacer la plus grande partie du nickel par du manganèse, on peut remplacer ces deux corps par du carbone. J'ai montré [1] qu'un acier de cémentation ordinaire, pourvu qu'il soit suffisamment carburé (de préférence 1,40 à 1,60 de carbone), si on le trempe vers 1 050° dans l'eau glacée, est formé de deux constituants structuraux : l'un dur comme les aciers trempés normalement; l'autre, relativement doux, que j'ai assimilé aux aciers manganèse ou nickel. Après quelques minutes d'immersion dans l'air liquide, le métal ainsi composé, ramené à la température ordinaire, se retrouve profondément modifié : sa perméabilité magnétique et son magnétisme rémanent ont augmenté ; sa densité s'est abaissée de 7,798 à 7,692. (La densité du même acier recuit est 7,808.) Si la barrette immergée dans l'air liquide avait été préalablement polie plane sur une de ses faces, cette face sort dépolie du bain : le constituant doux, en se transformant avec augmentation de volume, s'est élevé en relief au-dessus du constituant dur non modifié, et la structure, auparavant invisible, se montre telle qu'une attaque appropriée aurait pu la faire apparaître en même temps ; la dureté du constituant doux a augmenté sans égaler celle du constituant dur : pour employer la terminologie des métallographes, l'austenite a subi une transformation qui la rapproche de la martensite. »

M. Osmond propose l'explication suivante :

« Quand on ajoute au fer, en proportions croissant progressivement, du nickel, du manganèse ou du carbone, séparément ou ensemble, les points de transformation du fer sont progressivement abaissés, pendant le refroidissement lent ou rapide par le nickel ou le manganèse, pendant le refroidissement rapide seulement (trempe) par le carbone. Quand la proportion des corps ajoutés est convenable, on obtient des aciers qui ne sont pas transformés du tout : le fer y garde, à la température ordinaire, la même forme moléculaire, non magnétique et relativement dense, qu'il possède normalement au-dessus de 860° ; mais les transformations restent possibles, du moins partiellement, à une température plus basse (et aussi par l'écrouissage à la température ordinaire), avec apparition du magnétisme, diminution de densité et augmentation de dureté. Tels sont les aciers qui viennent d'être étudiés : on en pourra probablement trouver d'autres dans les familles des aciers au chrome ou au tungstène en présence du carbone. Enfin, si l'on élève plus encore la proportion des corps dénommés, il arrive un moment où l'acier n'est plus transformable même dans l'air liquide ; à ce type appartient l'acier manganèse à 13 p. 100 environ de M. Hadfield, certains aciers nickel-chrome signalés par M. Guillaume, etc.

» Bref, l'abaissement des points de transformation allotropique du fer apparaît comparable à l'abaissement des points de solidification des dissolvants par les corps dissous. »

Sur la position des points de transformation magnétique des aciers au nickel;

Par L. DUMAS [1].

De l'ensemble des résultats obtenus jusqu'ici dans la détermination des points de transformation magnétique des alliages de fer et de nickel, il résulte que pour les alliages dont la teneur en nickel est voisine de 25 p. 100

(1) *Comptes rendus*, t. CXXI, p. 684 ; novembre 1895.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 42, séance du 3 juillet 1899.

la température où commence à apparaître le magnétisme pendant le refroidissement, est peu éloignée de 0°; elle se relève rapidement, soit que la teneur en nickel diminue (alliages irréversibles de M. Guillaume), soit qu'elle augmente (alliages réversibles).

M. Dumas a constaté qu'il n'en est pas toujours ainsi : Des aciers au nickel contenant 0,6 à 0,8 de carbone, 0,5 de manganèse, 20 à 25 de nickel et 2 à 3 p. 100 de chrome ne sont pas magnétiques à la température ordinaire et ne se transforment pas sous l'influence du refroidissement, même après l'immersion dans l'air liquide [1].

Cette constatation a été le point de départ de recherches plus étendues faites sur de nombreux alliages de compositions diverses fournis par la Société de Commentry-Fourchambault. L'état magnétique a été essayé à la température ordinaire (+ 15°), dans la neige carbonique (— 78°) et, pour quelques échantillons, dans l'air liquide (— 188°) préparé au Collège de France, dans le laboratoire de M. d'Arsonval.

Dans le tableau suivant sont données les compositions des échantillons. Les échantillons ayant à peu près la même teneur en nickel ont été groupés ensemble; dans chaque groupe les échantillons ont été classés par ordre de teneur en carbone.

	COMPOSITION CHIMIQUE P. 100				MAGNÉTISME		
	Carbone.	Silicium.	Manganèse.	Nickel.	à + 15°.	à — 78°.	à — 188°.
I.	1,37	0,41	2,71	10,00	très faible	très faible	permanent
II	0,07	0,25	1,45	15,48	très fort	très fort	
	0,19	0,12	0,73	14,55	très fort	très fort	
	0,73	0,38	0,41	15,92	très faible	permanent	
	1,03	0,37	1,22	14,44	nul	permanent	
	1,13	0,38	1,89	15,88	nul	nul	permanent
	1,36	0,55	2,07	14,80	nul	nul	
III	0,15	0,15	0,31	24,06	très faible	très fort	
	0,34	0,22	0,51	24,04	très faible	très fort	
	0,41	0,23	0,11	24,05	nul	permanent	
	0,64	0,27	0,88	24,61	nul	nul	non permanent
	0,85	0,47	1,41	23,35	nul	nul	
IV	0,39	0,23	0,43	25,38	nul	permanent	
	0,62	0,41	0,80	25,45	nul	non permanent	
V	0,23	0,17	0,18	27,12	nul	permanent	
	0,25	0,14	0,36	27,72	très faible	non permanent	permanent

L'examen de ce tableau amène aux conclusions qui suivent :

1° La position du point de transformation magnétique ne dépend pas exclusivement de la teneur en nickel; dans chaque groupe, les points de transformation sont répartis sur l'échelle des températures entre des limites éloignées de plusieurs centaines de degrés.

2° Dans chaque groupe, le point de transformation peut être abaissé par des additions de carbone et de manganèse, ce qui permet d'obtenir des aciers non magnétiques à basse température, même avec des teneurs en nickel très faibles.

3° Certains aciers de teneur en nickel supérieure à 24 p. 100 ont acquis, par le refroidissement, un magnétisme non permanent, c'est-à-dire qui ne subsiste pas à la température ordinaire (réversibles de M. Guillaume); d'autres, faisant partie des mêmes groupes,

(1) Comme M. Osmond, l'auteur a constaté que, dans l'austénite, le carbone seul, sans aucun auxiliaire, abaisse le point de transformation du fer bien au-dessous de 0°.

ont acquis par le refroidissement le magnétisme permanent (irréversibles). L'un des échantillons possède même cette propriété remarquable d'être successivement non magnétique à + 15°, magnétique non permanent à — 78°, magnétique permanent à — 188°.

4° L'influence du carbone est nettement prépondérante ; quelques millièmes de cet élément suffisent pour amener le point de transformation dans le voisinage de — 188°, tandis que celui des alliages de fer et de nickel, qui sont d'ailleurs toujours un peu carburés, ne descend jamais au-dessous de 0°. Les proportions de manganèse sont assez faibles pour que l'influence de cet élément puisse être considérée comme négligeable, relativement à celles du carbone et du nickel. Le manganèse a été introduit pour favoriser la dissolution du carbone et éviter sa précipitation à l'état de graphite.

Le chrome est un dissolvant du carbone plus énergique encore que le manganèse, il a une action très favorable sur la ductilité à chaud et à froid.

Pour ces raisons M. Dumas a préparé un certain nombre d'échantillons d'acier au nickel contenant des proportions variées de chrome. La composition chimique et les propriétés magnétiques de ces aciers sont données dans le tableau ci-dessous :

L'action du carbone reste prépondérante dans la plupart des échantillons composant

	COMPOSITION CHIMIQUE P. 100					MAGNÉTISME		
	Carbone.	Silicium.	Chrome.	Manganèse.	Nickel.	à + 15°.	à — 78°.	à — 188°
VI. . . .	0,36	0,47	14,4	0,60	0,9	très fort	très fort	très fort
	0,52	0,24	2,83	0,59	4,95	très fort	très fort	
VII . . .	1,14	»	3,12	0,93	5,05	très faible	très faible	
	2,13	0,54	3,92	5,05	4,96	nul	nul	
VIII. . .	1,77	0,40	3,19	2,78	7,28	nul	nul	nul
	0,31	0,42	2,92	0,46	10,20	très fort	très fort	
IX. . . .	0,73	0,58	2,70	0,61	12,04	nul	permanent	
	1,10	0,34	3,55	0,91	13,34	nul	nul	nul
	0,07	0,23	2,74	0,96	17,24	très fort	très fort	
	0,19	0,31	0,98	0,26	17,50	très fort	très fort	
	0,29	0,30	9,05	0,13	15,50	nul	nul	nul
X. . . .	0,33	0,21	2,83	0,60	15,08	nul	permanent	
	0,40	0,47	1,75	0,63	16,06	nul	permanent	
	0,50	0,24	1,77	0,53	16,68	nul	permanent	
	0,53	0,35	3,02	0,82	16,05	nul	nul	nul
	0,71	0,58	2,02	1,17	16,16	nul	nul	
	0,10	0,21	0,43	0,32	21,84	très fort	très fort	
	0,27	0,23	0,56	0,45	22,08	très fort	très permanent	
XI. . . .	0,28	0,29	0,59	0,36	23,06	nul	permanent	
	0,30	0,23	0,53	0,27	23,73	nul	permanent	
	0,31	0,25	5,29	0,23	24,20	nul	nul	non permanent
	0,45	0,35	0,28	0,66	24,26	nul	nul	permanent
XII . . .	0,63	0,94	2,53	0,41	27,16	très faible	non permanent	non permanent
	0,11	0,23	9,87	0,70 fer (1)	1,65	nul	nul	non permanent
XIII. . .	0,46	0,52	9,40	1,72 fer	1,75	nul	nul	non permanent
	0,96	0,49	9,62	1,45 fer	1,45	nul	nul	non permanent

(1) La teneur en nickel s'obtient par différence.

ce Tableau, mais elle parait nulle lorsque le nickel remplace à peu près complètement le fer. Par contre, le chrome n'abaisse pas le point de transformation des aciers à très faible teneur en nickel, mais il abaisse considérablement celui des aciers au nickel à forte teneur, et notamment celui des aciers au nickel sans fer ou pouvant être considérés comme tels.

Le magnétisme acquis par le refroidissement est encore, comme celui des aciers non chromés, soit permanent, soit non permanent. Quatre échantillons, dont les teneurs en nickel diffèrent notablement, mais qui sont très fortement chromés, sont restés non magnétiques, même dans l'air liquide. L'abaissement le plus considérable du point de transformation a été obtenu par l'action combinée du carbone et du chrome.

Théorie de l'amortissement dans les galvanomètres ;

Par H. Lemke ([2]).

Schering a traité la question de l'amortissement des oscillations d'un aimant dans l'intérieur d'un cadre traversé par un courant, en supposant que l'amortissement n'est pas constant, comme on le suppose d'ordinaire mais est fonction de l'amplitude. Il obtient pour définir l'élongation x l'équation différentielle

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\varepsilon(1 - \varepsilon_1 x)\frac{dx}{dt} + n^2(1 - n_1 x^2)x = 0 \qquad (1)$$

le terme dépendant du carré de l'amplitude dans la fonction d'amortissement et le terme dépendant du couple magnétique terrestre, qui est proportionnel au sinus de l'amplitude sont les deux premiers termes du développement. En admettant que x s'annule à l'époque $t = 0$ et en posant $\left(\frac{dx}{dt}\right)_0 = v_0$, il obtient l'intégrale :

$$x = Ae^{-\varepsilon t} \sin(\beta t + B) \qquad (2)$$

où

$$\beta = \sqrt{n^2 - \varepsilon^2}$$

A et B doivent être regardés comme des fonctions du temps, ils peuvent être calculés par un système d'équations qu'a établi Schering en négligeant les puissances de l'amplitude supérieures à la quatrième.

Son calcul est assez compliqué. On peut arriver aux mêmes résultats d'une manière plus simple, en exprimant le mouvement de l'aimant par la somme de trois oscillations amorties, pourvu que $n^2 > \varepsilon^2$.

Schering a démontré qu'en négligeant les termes en x^5 et les termes d'ordre supérieur, on peut remplacer l'équation (1) par la suivante :

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\varepsilon\frac{dx}{dt} + n^2x = 2\varepsilon\varepsilon_1 x_0^2 \frac{dx_0}{dt} n^2 n_1 x_0 \qquad (3)$$

en prenant pour x_0 une intégrale de l'équation :

$$\frac{d^2x}{dt} + 2\varepsilon\frac{dx_0}{dt} + n^2x_0 = 0 \qquad (4)$$

On sait, que du moment où $\varepsilon^2 > n^2$, on a :

$$x_0 = \gamma_1 e^{\lambda_1 t} + \gamma_2 e^{\lambda_2 t}$$

où γ_1 et γ_2 sont deux constantes arbitraires et λ_1, λ_2 les racines de l'équation :

$$\lambda^2 + 2\varepsilon\lambda + n^2 = 0.$$

Dans ces conditions le second membre de l'équation (3) est une fonction connue du temps, soit $f(t)$.

D'après la théorie des équations différentielles, l'intégrale de l'équation (3) est de la forme :

$$x = x_0 + g_1 e^{\lambda_1 t} + g_2 e^{\lambda_2 t} \qquad (6)$$

où

$$g_1 = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2}\int e^{-\lambda_1 t} f(t)\,dt$$

$$g_2 = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1}\int e^{-\lambda_2 t} f(t)\,dt$$

$$f(t) = A_1 e^{3\lambda_1 t} + A_2 e^{(2\lambda_1 + \lambda_2)t} + A_3 e^{(\lambda_1 + 2\lambda_2)t} + A_4 e^{3\lambda_2 t}$$

en posant pour abréger :

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= [2\varepsilon\varepsilon_1\lambda_1 + n^2n_1]\gamma_1^3 \\ A_2 &= [2\varepsilon\varepsilon_1(2\lambda_1 + \lambda_3) + 3n^2n_1]\gamma_1^2\gamma_2 \\ A_3 &= [2\varepsilon\varepsilon_1(\lambda_1 + 2\lambda_2) + 3n^2n_1]\gamma_1\gamma_2^2 \\ A_4 &= [2\varepsilon\varepsilon_1\lambda_2 + n^2n_1]\gamma_2^3 \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

([1]) La teneur en nickel s'obtient par différence.

([2]) *Wied. Ann.*, t. LXVII, p. 828-833, avril 1899.

L'intégrale générale (6) s'écrit alors :

$$x = x_0 + B_1 e^{3\lambda_1 t} + B_2 e^{(2\lambda_1 + \lambda_2)t} + B_3 e^{(\lambda_1 + 2\lambda_2)t} + B_4 e^{3\lambda_2 t}$$

$$B_1 = \frac{A_1}{2\lambda_1(3\lambda_1 - \lambda_2)} \qquad B_2 = \frac{A_2}{2\lambda_1(\lambda_1 + \lambda_2)}$$

$$B_3 = \frac{A_3}{2\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2)} \qquad B_4 = \frac{A_4}{2\lambda_2(3\lambda_2 - \lambda_1)}$$

Si aucun des dénominateurs dans ces coefficients B ne s'annule, cette intégrale définit complètement le mouvement apériodique.

Si $\varepsilon^2 < n^2$, le mouvement est oscillatoire ; λ_1 et λ_2 deviennent des quantités complexes et les expressions prennent la forme :

$$x_0 = Ce^{-\varepsilon t} \sin(\beta t + D) \qquad (5')$$

$$\beta = \sqrt{n^2 - \varepsilon^2}$$

$$x = Ce^{-\varepsilon t} \sin(\beta t + D) + C_1 e^{-3\varepsilon t} \sin(3\beta t + 3D_1) + C_2 e^{-3\varepsilon t} \sin(\beta t + D_2). \qquad (8)$$

Les coefficients C_1, C_2, D_1, D_2 sont complètement définis par les constantes d'intégration C et D. En posant :

$$a_1 = -a_2 = \frac{1}{2}\varepsilon\varepsilon_1\beta \qquad d_1 = 4(3\varepsilon^2 - 2n^2)$$

$$c_1 = 3c_2 = -12\varepsilon\beta \qquad d_0 = 4\varepsilon_2$$

$$b_1 = -\frac{b_2}{3} = +\frac{1}{4}(2\varepsilon_2\varepsilon_1 - n^2 n_1)$$

ces coefficients sont déterminés par les équations :

$$\left.\begin{aligned} C_1(c_1^2 + d_1^2) \sin 3(D_1 - D) &= C^3(a_1 d_1 - b_1 c_1) \\ C_1(c_1^2 + d_1^2) \cos 3(D_1 - D) &= C^3(a_1 c_1 + b_1 d_1) \\ C_2(c_2^2 + d_2^2) \sin (D_2 - D) &= C^3(a_2 d_2 - b_2 c_2) \\ C_2(c_2^2 + d_2^2) \cos (D_2 - D) &= C^3(a_2 c_2 + b_2 d_2) \end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

Tant que ε est différent de n et plus petit que n, ces équations permettent de calculer C_1 et C_2.

Le mouvement de l'aimant se trouve donc ainsi exprimé par la somme de trois oscillations sinusoïdales amorties. On voit tout de suite d'ailleurs, que deux d'entre elles ont en général dès le début une amplitude très petite, car les constantes C_1 et C_2 sont du même ordre de grandeur que C^3, c'est-à-dire du même ordre de grandeur que le cube de l'élongation.

La forme de l'intégrale donnée ci-dessus n'a de sens que pour ε différent de o. Si l'amortissement est nul, les équations (9) ne permettent plus de calculer C^3.

Dans ce cas, on a :

$$x = C\sin(nt + D) + C'\sin(3nt + D') + Kt\cos(nt + D) \qquad (8'')$$

$$D' = 3D \quad C' = \frac{1}{32} n_1 C^3 \quad K = -\frac{3}{8} nn_1 C^3.$$

Dans cette expression, le temps se trouve explicitement en dehors des fonctions trigonométriques ou exponentielles.

Le mouvement présente dans ce cas une certaine analogie avec celui que définit l'équation bien connue :

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} + 2\varepsilon\frac{d\xi}{dt} + n^2\xi = a \sin mt$$

si on suppose $\varepsilon = 0$ et $m = n$. Dans ce cas, on a en effet :

$$\xi = C\sin(nt + D) - \frac{a}{2n} t \cos nt.$$

Revenons au mouvement dans lequel $\varepsilon = 0$; admettons que $x = 0$ pour $t = 0$ et que $\left(\frac{dx}{dt}\right)_0 = v_0$: il est facile de calculer la durée d'oscillation τ. Soit t_1 la première des époques à laquelle x s'annule, t_2, la seconde :

$$\tau = t_2 - t_1 \qquad (10)$$

Développons x_1 et x_2 par la formule de Taylor :

$$x_1 = x_0 + t_1\left(\frac{dx}{dt}\right)_0 + \ldots$$

$$x_2 = x' + (t_2 - t')\left(\frac{dx}{dt}\right)' + \ldots$$

x' étant la valeur de x au temps $t' = \frac{\pi}{\beta}$.

Or t_1 et $t_2 - t'$ sont du deuxième ordre par rapport à l'élongation. Si on néglige la quatrième puissance de celle-ci, on a :

$$t_1 = -\frac{x_0}{\left(\frac{dx}{dt}\right)_0} \qquad t_2 = \frac{\pi}{\beta} - \frac{x'}{\left(\frac{dx}{dt}\right)'}$$

et par suite :

$$\tau = \frac{\pi}{\beta} - \left[\frac{x'}{\left(\frac{dx}{dt}\right)'} - \frac{x_0}{\left(\frac{dx}{dt}\right)_0}\right] \qquad (11)$$

Finalement, en remplaçant x et $\frac{dx}{dt}$ par leurs expressions et négligeant la quatrième puissance de C il vient :

$$\tau = \frac{\pi}{\beta} - \left(\frac{C_1}{C\beta} \sin D_1 + \frac{C_2}{C\beta} \sin D_2\right)\left(e^{-\frac{2\epsilon\pi}{\beta}} - 1\right) \quad (12)$$

Cette formule est la même que celle de Schering, à quelques différences près de pure forme.

Le mouvement apériodique présente aussi quelques cas intéressants. L'intégrale (8) n'a de sens que si aucun des dénominateurs des coefficients B ne s'annule.

En laissant de côté le cas où l'une des racines de l'équation caractéristique en λ serait nulle, il reste trois hypothèses possibles :

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 0 \qquad 3\lambda_1 - \lambda_2 = 0 \qquad 3\lambda_2 - \lambda_1 = 0$$

La première, qui revient à $\varepsilon = 0$ a été examinée déjà.

Les deux autres reviennent à :

$$3\varepsilon^2 - 4n^2 = 0$$

On a alors :

$$x = x_0 + \frac{A_1}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{\lambda_1 t} \cdot t + \frac{A_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_2 t} \cdot t$$
$$+ \frac{A_2}{2\lambda_1(\lambda_1 + \lambda_2)} e^{(2\lambda_1 + \lambda_2)t} + \frac{A_2}{2\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2)} e^{(\lambda_1 \quad \lambda_2)t}.$$

Si $\varepsilon^2 = n^2$, les racines λ_1 et λ_2 deviennent égales et

$$x_0 = (\gamma_1 + \gamma_2)\, e^{-\varepsilon t}$$

Ce mouvement a été étudié par plusieurs auteurs : en portant cette valeur dans l'intégrale (3), on donne à x la forme :

$$x = (G_0 + G_1 t + G_2 t^2 + G_3 t^3)\, e^{-3\varepsilon t} + x_0$$

dont les coefficients G sont aisés à calculer.

M. L.

CHRONIQUE

Le prix de revient de la journée d'un fiacre à Paris. — Ainsi qu'il l'avait fait l'an dernier à peu près à pareille époque. M. Forestier a, vendredi dernier, communiqué à la Société des Ingénieurs civils les principaux résultats du récent concours de voitures de place, ou plutôt du dernier « concours de voitures de ville », comme l'appelle M. Forestier avec plus de justesse puisque, non seulement des fiacres, mais encore des voitures de remise et des voitures de livraison ont pris part à ce concours.

Craignant de commettre quelque erreur en reproduisant les nombreux chiffres cités par M. Forestier nous remettons à une date ultérieure la publication du compte rendu complet de cette intéressante communication; nous nous bornerons aujourd'hui à quelques mots sur le point principal de cette communication : l'évaluation du prix de revient de la journée d'un fiacre.

On sait que pour cette évaluation M. Forestier suppose un parcours total journalier de 60 km dont 45 km de courses et 15 km de maraude et parcours du dépôt aux lieux de travail et inversement. La dépense d'énergie nécessaire pour accomplir ce parcours est évaluée d'après les consommations relevées pendant le concours. A la suite du concours de l'an dernier, M. Forestier était arrivé au chiffre de 6,38 fr pour la dépense moyenne d'énergie électrique et au chiffre de 19,86 fr pour la dépense moyenne totale d'un fiacre électrique, dépense qui dépasse seulement de 49 centimes celle d'un fiacre à cheval (Voir *L'Écl. Élect.* du 9 juillet 1898, t. XVI, p. 70). Les résultats du concours de cette année indiquent une légère diminution de la consommation d'énergie électrique par voiture-kilomètre ; c'est ce qui résulte en effet de la comparaison des chiffres de la colonne I du tableau ci-joint (qui indiquent les quotients des watts-heure fournis aux accumulateurs par les kilomètres parcourus) et des chiffres de la 6e ligne du tableau IX de la page 69 du numéro du 9 juillet 1898. Cette légère diminution est aussi accusée par la comparaison des chiffres de la colonne II du tableau ci-joint (qui indiquent, d'après les essais des premier et dernier jours du concours la quantité d'énergie fournie au moteur par les accumulateurs pour parcourir 1 km aux diverses vitesses indiquées dans la colonne III) et des chiffres de la 6e ligne du IV de la page 64 du numéro du

9 juillet 1898. Toutefois cette diminution est si faible que M. Forestier n'a pas cru devoir modifier le chiffre donné l'an dernier pour la dépense journalière d'un fiacre électrique.

VOITURES	I	II	III
	w. : h.	w. : h.	km. : h.
1 Coupé Jenatzy. .	196	102 à 136	? à ?
5 Cab Jeantaud . .	184	112 à 125	15,8 à 24
6 Victoria Jeantaud	166	108 à 135	9,2 à 24
7 Mylord Jeantaud.	164	94 à 159	10 à 24
15 Droisky Jeantaud	129	? à 114	17 à 22
9 Victoria Kriéger.	163	111,5 à 151	8,5 à 23,65
4 Voit. de liv. Jenatzy.	600	260 à 381	10,2 à 23
8 Voit. de liv. Mildé.	315	197 à 228	7,4 à 21,6

Quant aux fiacres à essence de pétrole qui ont pris part au concours de cette année, ils ont consommé bien moins d'essence que le fiacre Peugeot de l'an dernier; mais leur consommation est encore beaucoup trop élevée pour que ces fiacres puissent lutter avec les voitures électriques au point de vue de l'économie.

M. Forestier n'a pas fait pour les voitures de livraison un calcul analogue à celui qu'il a fait pour les fiacres. Les chiffres des deux dernières lignes du tableau ci-joint indiquent une consommation d'énergie de beaucoup supérieure à celle d'un fiacre, ce qui s'explique par les poids considérables des voitures de livraison ayant pris part au concours : 6500 kg pour la voiture Jenatzy et 3800 kg pour la voiture Mildé. Mais comme les voitures de livraison à traction animale exigent plus de chevaux que les fiacres il peut se faire que malgré la consommation d'énergie assez importante que nécessitent les voitures de livraison électriques, celles-ci soient plus économiques que les voitures à chevaux.

Comparaison des systèmes de distribution par courants diphasés et courants triphasés. — *The Electrical World* de New-York a. depuis plusieurs semaines, ouvert une discussion sur les avantages et désavantages relatifs de ces deux systèmes de distribution de l'énergie électrique. Cette discussion sera bientôt résumée dans ces colonnes par M. C.-F. Guilbert ; pour le moment nous nous bornerons à reproduire la lettre suivante de M. A. Blondel, publiée dans le dernier numéro de *The Electrical World*.

« J'ai lu avec beaucoup d'intérêt la discussion publiée dans votre journal sur les mérites relatifs des systèmes de distribution diphasés et triphasés et j'ai été surpris de voir que plusieurs ingénieurs attribuent au système diphasé un avantage spécial au point de vue de l'indépendance des circuits. Il me paraît cependant qu'il y a lieu de faire des réserves sur ce point :

» 1° L'indépendance des circuits diphasés exige l'emploi de deux transformateurs distincts et de quatre conducteurs de lignes au lieu de trois. Même dans ces conditions l'influence d'un circuit sur l'autre n'est négligeable que si la réaction d'armature des alternateurs est petite. Si au contraire on veut faire fonctionner les alternateurs à leur capacité maximum, des actions mutuelles souvent considérables et gênantes entrent en jeu. Ainsi ayant eu récemment à étudier une distribution a courants diphasés avec un alternateur de très grande self-inductance il m'a été nécessaire de faire faire beaucoup de modifications avant d'obtenir sur l'un des circuits une force électromotrice ne variant pas de plus de 10 p. 100, quand la charge sur l'autre circuit varie de la pleine charge à la charge nulle. J'ajoute que cette action mutuelle peut être facilement expliquée par le calcul. Comme la tendance actuelle est d'obtenir un plus grand rendement des alternateurs en acceptant de grandes chutes de potentiel et compensant celles-ci par le compoundage, l'inconvénient dont il vient d'être question ne saurait être négligé, et en conséquence le principal avantage réclamé en faveur du système diphasé est assez problématique;

» 2° Les alternateurs diphasés à haut voltage avec quatre bobines par pôle donnent une courbe de force électromotrice indiquant l'existence d'harmoniques beaucoup plus développées et par conséquent beaucoup plus gênantes que celles des alternateurs triphasés à six bobines;

» 3° L'avantage de pouvoir employer une machine à deux armatures avec une phase sur chaque armature, ainsi que cela a été très ingénieusement proposé par M. Fischer-Hinnen est. à mon avis, également problématique, parce que la réaction de l'une des armatures agit certainement sur l'autre armature, à moins que les circuits magnétiques ne soient complètement distincts et excités séparément par deux enroulements inducteurs;

» 4° Pour juger avec équité le système triphasé il ne faudrait pas supposer qu'on l'utilise avec des transformateurs séparés sur les trois phases, mais plutôt avec des transformateurs symétriques à

trois noyaux. Ces derniers transformateurs, qui semblent être peu employés en Amérique, sont largement utilisés en Europe où leurs avantages non seulement théoriques mais aussi pratiques sont reconnus. Ces transformateurs sont moins coûteux que trois transformateurs séparés, en outre, ils jouent le rôle de compensateur automatique, égalisant les voltages sur les trois phases du circuit quand les charges sont inégales. Cette propriété découle immédiatement du fait que le flux magnétique dans un noyau étant la résultante des flux dans les deux autres, les trois flux sont nécessairement sensiblement égaux.

» C'est par l'emploi de ces transformateurs compensateurs que les distributions par courants triphasés ont pu éviter les difficultés résultant d'un défaut d'équilibre des charges, difficultés qui sont très marquées quand les circuits sont alimentés directement par un alternateur ou par le moyen de transformateurs séparés. Ainsi la Compagnie électrique de la Loire, qui distribue l'énergie électrique, pour l'éclairage et la force motrice dans la région de Saint-Étienne, dans un rayon de 90 km, rencontra de telles difficultés pour équilibrer son réseau qu'elle fut amenée à employer dans ce but un quatrième fil tant que les transformateurs séparés pour chaque phase furent en usage; depuis qu'elle a remplacé ces derniers transformateurs par des transformateurs triphasés, elle n'a rencontré aucune difficulté d'équilibrage et le quatrième fil a pu être supprimé. Si l'on tient compte que le système diphasé ne permet pas l'emploi de ces transformateurs compensateurs, qu'il exige quatre conducteurs au lieu de trois et enfin qu'il n'offre aucun avantage matériel sous le rapport de la construction des machines, on ne sera pas étonné que j'aie une préférence personnelle pour le système triphasé et que je sois convaincu que finalement il sera employé partout à l'exclusion du système diphasé. Cette opinion n'implique d'ailleurs nullement l'idée que les arguments qui ont été présentés en faveur de l'égalité des avantages des deux systèmes n'aient pas une réelle valeur. De même, quoique l'une et l'autre de nos mains aient une égale valeur, il y en a toujours une qui est finalement employée presque exclusivement de préférence à l'autre. »

Influence de la nature de la source électrique sur le spectre d'une décharge dans les tubes à vapeur de cadmium. — Dans une récente chronique (*Écl. Élect.*, du 24 juin, t. XIX, p. 476) nous signalions les expériences faites par MM. Pérot et Fabry en vue de reconnaître la nature de la source d'électricité qui convient le mieux pour obtenir des raies fines et distinctes dans le spectre des décharges à travers les gaz ou vapeurs raréfiées. De ces expériences il résultait que lorsque la source est une bobine de Ruhmkorff, l'aspect des raies n'est pas le même suivant que l'on met ou que l'on ne met pas un condensateur en dérivation sur le circuit de décharge, et MM. Pérot et Fabry concluaient à l'emploi d'une source de courant continu.

M. Maurice HAMY, qui a également étudié ce sujet, est arrivé à une conclusion opposée (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1380, séance du 5 juin). « Contrairement, dit-il, aux résultats obtenus par MM. Pérot et Fabry, avec les tubes de M. Michelson, le spectre fourni par l'appareil est identique, avec ou sans condensateur, du moins pour le cadmium. Dans les conditions où j'opère (bobine de Carpentier, modèle de 300 fr; courant inducteur, 3 à 4 ampères à 10 volts), la température de l'étuve, le degré du vide dans les tubes et la section de leur étranglement ont seuls une action sur l'éclat et sur la finesse des radiations. Les parties larges des tubes émettent des radiations beaucoup plus fines que l'étranglement et ces radiations permettent de réaliser, toujours pour le cadmium, des franges d'interférence avec des différences de marche encore supérieures à celles qui ont été atteintes par MM. Pérot et Fabry en excitant des tubes de Michelson avec un courant continu. L'étranglement des tubes ne doit donc pas être trop réduit et l'on obtient de la sorte encore beaucoup de lumière. Certaines raies, visibles dans l'examen des tubes en bout, n'existent pas dans la lumière émise normalement à l'étranglement. Leur disparition est vraisemblablement causée par un élargissement considérable. »

Il convient de faire remarquer que cette différence entre les résultats tient peut-être à une différence dans la façon dont la décharge est produite dans le tube. MM. Pérot et Fabry emploient, comme M. Michelson, des tubes munis de fils de platine auxquels sont soudés de gros anneaux d'aluminium servant d'électrodes. M. Hamy, ayant constaté que souvent des fissures s'établissent dans le verre près des fils de platine, prend au contraire des tubes sans électrodes intérieures et dont les extrémités sont entourées de manchons de cuivre remplis de plombagine (*Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 749, 1er sem. 1897).

Fréquence des oscillations nerveuses produites par des excitations électriques unipolaires. — Dans une précédente chronique (t. XX, p. 38, 1er juillet 1899) nous donnions une analyse succincte de deux communications de M. Aug. Charpentier relatives à ce sujet ; dans l'une, l'auteur indiquait le principe d'une méthode permettant de mesurer la durée, la vitesse de propagation et la longueur d'onde d'une oscillation ; dans la seconde, il faisait connaître les résultats de ses mesures de la vitesse de propagation.

Une troisième communication sur ce même sujet a été faite par M. Charpentier à la séance du 3 juillet de l'Académie des sciences (*Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 38-40). L'auteur dit avoir pu déterminer avec assez de précision les intervalles de temps $t' - t$ qui doivent séparer deux excitations d'un nerf en deux points différents pour que ces excitations interfèrent ; il a trouvé pour l'un $\frac{1}{670}$ de seconde et pour l'autre $\frac{1}{670} + \frac{1}{800}$; la durée d'une oscillation est donc comprise entre $\frac{1}{670}$ et $\frac{1}{800}$ de seconde, soit en moyenne $\frac{1}{747,5}$ de seconde.

La vitesse de propagation est, comme il a été dit dans la chronique rappelée plus haut, comprise entre 17,9 et 34,8 m par seconde, soit en moyenne 26,43 m : sec. Ces nombres ont été trouvés par un procédé dont voici le principe. On détermine l'intervalle de temps τ qui doit séparer les excitations en deux points du nerf distants de l pour qu'il y ait interférence ; on détermine ensuite l'intervalle τ' pour deux points distants de l'. Si on appelle k le temps nécessaire à la production de l'excitation nerveuse et v la vitesse de propagation de l'excitation, on a $\tau = k + \frac{l}{v}$ et $\tau' = k + \frac{l'}{v}$; d'où l'on tire $v = \frac{l' - l}{\tau' - \tau}$.

Des valeurs obtenues pour la durée d'une oscillation et pour la vitesse de propagation, on déduit pour la longueur d'onde $26,43 \times \frac{1}{747.5} = 0,035$ m ; résultat qui concorde pleinement avec les résultats de mesures antérieures directes de la demi-longueur d'onde, résultats qui montraient que la demi longueur d'onde est inférieure à 2 cm.

Dans toutes ces expériences, la mesure des intervalles de temps a été effectuée par le dispositif suivant : Sur le cylindre d'un appareil inscripteur mû par un petit moteur électrique est tendu, légèrement de biais par rapport à une génératrice, un fil plat de platine de $\frac{1}{10}$ de millimètre de largeur en relation, par l'axe du cylindre, avec un pôle d'une pile. En face du cylindre se trouvent deux styles de platine en communication avec deux points du nerf. Aux instants des contacts du fil et des extrémités des styles, des excitations se trouvent produites. Connaissant la vitesse de rotation du cylindre, la distance horizontale des styles et l'inclinaison du fil, on déduit la durée de l'intervalle $t' - t$.

Les considérations suivantes, par lesquelles M. Charpentier termine sa note font ressortir l'importance de ces résultats :

« Ces oscillations sont bien, tout nous l'indique, de nature nerveuse. Sont-elles en même temps de nature électrique ? Cela est rendu bien probable par la comparaison des résultats précédents avec les mesures faites par Bernstein sur la variation négative des nerfs : d'après ce physiologiste, la variation négative du courant d'action qui se produit à la suite de toute excitation nerveuse (Du Bois-Reymond) durerait de $\frac{5}{10\,000}$ à $\frac{8}{10\,000}$ de seconde et se propagerait avec une vitesse de 27 m à 28 m.

» Or, cette durée correspond bien à celle d'une *demi-oscillation* nerveuse (période négative de notre oscillation) ; la moyenne serait, en effet, $\frac{6,5}{10\,000}$ pour le phénomène de Bernstein et $\frac{6,7}{10\,000}$ de seconde pour le nôtre. La vitesse de propagation est aussi sensiblement la même dans les deux cas.

» Si cette identité se confirme, ce sera le premier pas décisif vers la démonstration expérimentale de cette idée que l'influx nerveux est réellement de nature électrique, idée déjà rendue hautement probable par l'ensemble des travaux de M. d'Arsonval.

» Indépendamment de sa portée théorique, notre méthode constituerait aussi un nouveau moyen d'étude de la variation négative, ou plutôt des courants d'action des nerfs. Elle aurait l'avantage de ne pas exiger de lésion du nerf pour déceler les manifestations électriques de son activité.

» Quoi qu'il en soit, il n'est pas sans importance de constater objectivement dans le nerf moteur le phénomène que j'ai déjà découvert dans la rétine, et qui a été retrouvé par MM. André Broca et Richet dans l'écorce motrice du cerveau : la production d'oscillations dans un appareil nerveux à la suite de son excitation. Le rythme seul diffère suivant l'appareil envisagé. »

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XX. Samedi 5 Août 1899 6e Année. — N° 31.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DÉTERMINATION DIRECTE D'UN KILOHM ABSOLU

Jusqu'ici les méthodes mises en œuvre pour la mesure absolue d'une résistance n'ont porté que sur des résistances de l'ordre de grandeur de l'ohm. J'ai récemment appliqué une méthode de zéro permettant de mesurer en unités absolues une résistance *d'un ordre élevé*. C'est cette méthode et les résultats auxquels elle m'a conduit que je vais exposer ici. Je commencerai par rappeler brièvement les nombreux travaux qui ont été exécutés en vue de déterminer une résistance en unités absolues.

I. — Historique

Généralités. — Un fil métallique ou une colonne de mercure représentent, à une température fixe, une *résistance électrique* déterminée.

L'étalon de Jacobi était constitué par un fil de cuivre rouge de 1 mm de diamètre et 1 m de longueur. Celui de Pouillet, repris par Siemens, par une colonne de mercure de 1 m de longueur et de 1 mm² de section.

Dans les systèmes de mesures électrostatiques et électromagnétiques, la mesure d'une résistance est définie par l'une des propriétés de cette grandeur.

En écrivant par exemple la loi d'Ohm sous la forme

$$rI = V, \qquad (1)$$

la résistance *unité* doit être telle que, parcourue par le courant unité, ses extrémités présentent la différence de potentiel unité.

On peut déduire de (1) et des autres lois physiques, diverses propriétés de la résistance unité, équivalentes à la précédente au point de vue théorique.

Ainsi en multipliant les deux membres de (1) par It il vient :

$$rI^2t = VIt.$$

La résistance unité est celle qui, traversée par le courant unité, en reçoit dans l'unité de temps, sous forme de chaleur, l'unité d'énergie.

Au point de vue expérimental, les mé-

thodes qui fournissent le nombre r relatif à un conducteur donné, bien que théoriquement réductibles à un petit nombre de types, sont cependant distinctes par la nature du phénomène qui sert de base à la mesure et surtout par les moyens qui permettent d'éliminer les facteurs auxiliaires qu'il est difficile de connaître avec précision.

La résistance intervient :

1° dans la *distribution du potentiel* le long du circuit qu'elle constitue,

$$V = rI. \quad (1)$$

2° Dans la répartition de la chaleur le long du circuit :

$$Vq = rI^2t \quad \text{et} \quad Q_{cal.} = \frac{1}{J} rI^2t. \quad (2)$$

3° Dans la *quantité d'électricité induite* par une modification quelconque d'un champ magnétique

$$q = \frac{1}{r}\int e dt = \frac{1}{r}\Phi. \quad (3)$$

Φ étant la modification active, souvent *calculable*, qui produit l'induction.

Toutes les méthodes qui permettent la mesure absolue d'une résistance sont déduites de ces trois *modes d'intervention* de la résistance dans les phénomènes électriques.

Les appareils de mesure à employer sont donc : l'électromètre, l'électrodynamomètre, le galvanomètre et le calorimètre.

On doit encore distinguer dans l'emploi des premiers appareils : la déviation statique, l'impulsion, la déviation permanente, produite par une série d'impulsions périodiquement communiquées à l'équipage mobile et enfin l'amortissement des oscillations de celui-ci.

La variété des procédés expérimentaux qui ont conduit à la mesure absolue d'une résistance donnée, s'explique donc par la variété des moyens électriques qui permettent d'appliquer des forces connues à l'équipage mobile des appareils de mesure, et par les combinaisons mécaniques auxquelles se prêtent ces diverses actions.

Les méthodes qu'il faut rechercher sont celles qui conduisent à équilibrer l'une par l'autre deux actions calculables de même nature : on les nomme méthodes de *zéro*. Il est possible alors d'employer des appareils différentiels *sensibles* puisqu'ils n'interviennent plus que par leur *qualité;* la connaissance de leur constante devient inutile.

On doit aussi s'efforcer de réduire au minimum les mesures auxiliaires *délicates*.

Quelle que soit la voie suivie, il y a dans la simplification une limite qu'il est théoriquement impossible de dépasser.

Les conventions qui fixent le système électromagnétique imposent en effet les *égalités numériques* suivantes :

$$m = l\sqrt{f}; \quad i = \sqrt{f}; \quad q = t\sqrt{f}; \quad e = l\sqrt{f}t^{-1}.$$

En conséquence, les formules (1), (2), (3) donnent toutes

$$r = lt^{-1}.$$

Donc on sera fatalement conduit à mesurer *au moins* une longueur et une durée.

Lorsque la méthode comporte des mesures auxiliaires quelconques, l'équation correspondante, résolue par rapport à r, doit se ramener toujours à

$$r = Alt^{-1}.$$

A étant un facteur numérique indépendant des unités fondamentales.

Toutes les méthodes, sauf celle qui exige l'emploi du calorimètre, sont fondées sur les phénomènes d'induction. Elles se classent d'elles-mêmes en deux catégories : les unes utilisent des forces électromotrices constantes, les autres des forces électromotrices variables, généralement périodiques. Encore des forces électromotrices périodiques peuvent-elles se comporter comme des forces électromotrices constantes si elles ne deviennent actives qu'à l'instant où elles reprennent une même valeur (Maxwell).

D'éminents esprits accordent la préférence à l'emploi des courants continus, la résistance n'étant pas définie nettement lorsqu'il

s'agit de courants alternatifs surtout si la fréquence est grande (Helmholtz) : l'électricité véhiculée ne conserve plus alors une densité constante dans toute l'étendue de la section du conducteur, elle se porte particulièrement à la périphérie. En outre l'intervention de la self-induction complique souvent la méthode.

Dans tous les cas, lorsque les circuits en expérience sont le siège d'un courant, il est bien difficile d'estimer la température *du fil* qui les constitue : la connaissance de la température ambiante ne suffit pas pour calculer, avec certitude, la correction de température relative à la résistance.

Méthodes appliquées. — 1° *Méthode calorimétrique*. — Joule (1866) a calculé r au moyen de la formule (2). Une boussole des tangentes donnait $i = \frac{H}{G} \operatorname{tg} \delta$; un calorimètre, renfermant la résistance à estimer, servait à la mesure des calories cédées Q pendant un temps t d'ailleurs connu :

$$Q = C(\theta - \theta_0).$$

M. Lippmann (1882), désirant rendre le calcul (2) indépendant de J, a proposé de conduire l'expérience de façon à céder successivement au calorimètre, placé dans les mêmes conditions : 1° la chaleur dégagée par le courant ; 2° celle qui équivaut à un travail mesurable ; on maintiendrait ainsi une même température stationnaire θ. En désignant par ri^2 et par $\mathcal{T}$ l'énergie cédée dans les deux cas au calorimètre, pendant l'unité de temps, on a évidemment

$$ri^2 = \mathcal{T}.$$

Le travail $\mathcal{T}$ pourrait être emprunté à la chute d'un poids ou à un moteur et mesuré alors au frein de Prony.

2° *Emploi des forces électromotrices constantes*. — En 1873, Lorenz a utilisé la force électromotrice constante $e = C\omega i$ qui se développe *suivant le rayon* d'un disque de cuivre tournant avec la vitesse angulaire ω, à l'intérieur d'une bobine plate dont le fil est parcouru par un courant d'intensité i. Le disque est parallèle au plan des spires et son axe, autour duquel s'effectue la rotation, coïncide avec l'axe de la bobine, Le courant qui alimente la bobine, traversant la résistance r à évaluer, les extrémités de celles-ci présentent une différence de potentiel ri. On oppose l'une à l'autre les deux actions $C\omega i$ et ri et on établit l'équilibre par la variation graduelle de ω ou de r. Dans ces conditions on a

$$ri = C\omega i,$$

et par suite

$$r = C\omega.$$

On constate l'équilibre en intercalant sur le circuit de e un galvanoscope sensible.

Cette méthode présente deux inconvénients: d'abord le calcul de C est compliqué, puis la force électromotrice thermoélectrique, développée par le frottement des balais sur l'axe et la périphérie du disque, est importante par rapport à e. D'où une correction forte et d'ailleurs peu certaine.

En 1882, M. Lippmann a opposé à la différence de potentiel rI, la force électromotrice *maximum* e induite dans une bobine de surface totale S tournant à l'intérieur d'une seconde bobine, de longueur pratiquement infinie. En désignant par ω la vitesse angulaire, et par $4\pi n_1 I$ le champ inducteur, on a

$$e = 4\pi n_1 IS\omega = rI$$

donc

$$4\pi n_1 S\omega = r.$$

A la vérité, la force électromotrice induite est ici variable, mais elle se comporte comme si elle était constante, parce qu'elle n'agit qu'à l'instant où elle prend la valeur e.

Cette valeur est facile à calculer avec précision et peut être rendue incomparablement plus grande que celle obtenue au moyen du disque de Lorenz.

En substituant au champ de la longue bobine le champ terrestre, e est maximum au passage de la bobine tournante par le plan du méridien, la mesure de I n'est plus éli-

minée, la condition d'équilibre $rI = e$ donne alors

$$r = \frac{\omega S}{K \operatorname{tg} \alpha}$$

K étant la constante de la boussole et α la déviation de l'aiguille. La formule est indépendante de la valeur du champ inducteur H.

3° *Emploi des forces électromotrices variables.* — On peut faire servir de plusieurs manières par voie d'induction, un cadre sur lequel on a enroulé un fil, à la mesure de la résistance r de ce fil (W. Weber, 1851).

1° Le plan du cadre est par exemple perpendiculaire au plan du méridien magnétique. On le fait tourner brusquement d'une demi-circonférence autour de son diamètre vertical (ou horizontal) et on observe l'impulsion imprimée par le courant induit à l'aiguille d'un galvanomètre intercalé dans le circuit. La quantité d'électricité induite est

$$\frac{2SH}{R}.$$

Elle a, d'autre part, pour mesure (théorie du galvanomètre balistique) $\frac{H}{g}\frac{T}{\pi}\alpha$; par suite

$$R = \frac{2gS\pi}{\alpha T}.$$

Weber, dans les expériences qu'il fit seul, ou en collaboration avec Zöllner (1880-1884), prit un cadre galvanométrique circulaire et de grand rayon.

En 1874, Kohlraùsch s'est servi d'un galvanomètre sensible, le calcul direct de g n'est plus alors possible; l'auteur l'a déduit de la différence d'amortissement des oscillations de l'aiguille, le circuit galvanométrique étant ouvert, puis fermé.

En 1884, M. Mascart a calculé ses expériences par la formule $R = 2S\frac{H}{h}g\frac{\pi}{T\theta}$, H et h étant les intensités du champ terrestre aux endroits où se trouvent placés le cadre et le galvanomètre; θ est l'impulsion de l'aiguille corrigée de l'amortissement.

Pour éliminer les facteurs H, h et g, l'auteur, dans une expérience auxiliaire, fait passer un même courant dans le cadre établi en boussole des tangentes, et dans le galvanomètre. En désignant par Δ et δ les déviations lues, on a

$$\frac{H}{G}\operatorname{tg}\Delta = \varphi\frac{h}{g}\operatorname{tg}\delta$$

φ est le pouvoir multiplicateur du shunt employé. Il vient finalement

$$R = GS\frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}\Delta}\frac{\pi}{T\theta}\times\frac{1}{\varphi}.$$

On est ainsi ramené au calcul de la constante G du grand cadre.

2° Le plan du cadre tourne autour du diamètre vertical (ou horizontal) avec une vitesse angulaire constante ω, il est alors le siège d'un courant variable dont il est facile de calculer la loi. Lorsque le courant change de sens, le plan du cadre occupe des positions telles que les couples électromagnétiques, successivement appliqués à une aiguille aimantée très courte suspendue au centre du cadre, tendent tous à faire tourner cette aiguille dans le même sens. Sous l'action du champ terrestre et du champ périodiquement variable produit par le cadre, l'aiguille prend une position d'équilibre faisant avec sa position primitive un angle α. En écrivant que pour cette position le moment du couple terrestre et le moment moyen du couple électromagnétique sont égaux, on obtient une équation qui permet de calculer r.

$$r = \frac{GS\omega}{2\operatorname{tg}\alpha}\left[1 + \frac{G}{S}\cdot\frac{M}{H}\sec\alpha - \frac{2L}{GS}\left(\frac{2L}{GS} - 1\right)\operatorname{tg}^2\alpha\right]$$

Cette méthode due à Sir William Thomson a été appliquée par Fleming Jenkins en 1863; reprise en 1881 par lord Rayleigh et Schuster, puis de nouveau par lord Rayleigh en 1882. Elle a été employée aussi par H. Weber en 1884.

On obtient ω avec précision par la méthode stroboscopique. Si l'équipage magné-

tique se comporte comme une aiguille très courte par rapport au rayon du cadre, qui était d'environ 15 cm, on calcule assez bien G, mais il est difficile d'obtenir L; de plus la déviation α est seulement de quelques degrés et diverses causes perturbatrices (torsion du fil, mouvement de l'air à l'intérieur de la cage qui renferme l'aiguille, etc.) peuvent en affecter la valeur, et cela d'une manière mal connue.

3° Inversement on peut laisser le cadre fixe dans le plan du méridien magnétique et écarter *légèrement* de sa position d'équilibre l'aiguille suspendue au centre du cadre. Lorsque le circuit du cadre est fermé, l'amortissement des oscillations de l'aiguille est plus grand qu'en circuit ouvert, le déplacement des pôles de l'aimant induit en effet un courant dans le cadre qui s'oppose au mouvement de l'aiguille.

L'étude du mouvement de l'aiguille, soumise à chaque instant à l'action du champ terrestre et du courant qu'elle induit dans le cadre, donne en particulier la formule

$$r = \frac{G^2 M^2}{2\,am},$$

a désigne le moment d'inertie de l'aiguille et m un facteur calculé en écrivant que l'on passe d'une amplitude à la suivante en multipliant la première par e^{-mT} : les amplitudes successives peuvent être observées expérimentalement. La période d'oscillation est constante et a pour mesure T. En tenant compte de la self-induction du cadre, la formule (1) se complique [1].

La méthode d'amortissement imaginée par W. Weber a été appliquée par Dorn, Wild, H.-F. Weber, etc.; elle est sujette à bien des critiques.

La première mesure absolue d'une résistance a été réalisée par Kirchoff en 1849 au moyen de l'induction mutuelle. Deux bobines semblables B et B′ ayant leurs axes en coïncidence, faisaient partie d'un même circuit comprenant en outre une pile P et un galvanomètre G. La résistance R à évaluer, placée en dérivation, formait un premier circuit de résistance $R + r$ avec B′ et G et un second circuit de résistance $R + r'$ avec B et P. En écrivant les lois d'Ohm relatives à l'état permanent et à l'état variable, produit par une rotation de 90° de l'une des bobines, on a

$$I'(R + r') - IR = 0$$
$$I(R + r) - I'R - E = 0$$

puis

$$i'dt\,(R + r') - idtR - d\,[M(I + i) + L'(I' + i')] = 0$$
$$idt\,(R + r) - i'dtR - d\,[M(I' + i') + L(I + i)] = 0$$

i et i' désignent les variations des deux courants, et L, L′, M leurs coefficients de self et de mutuelle induction. En intégrant il vient :

$$q'(R + r') - qR - MI = 0$$
$$q(R + r) - q'R - MI' = 0$$

q et q' étant les quantités d'électricité induite. En résolvant ces dernières équations par rapport à q' on a

$$q' = \frac{M}{R}\,\frac{(R + r)(R + r') + R^2}{(R + r)(R + r') - R^2}\,.\,I'.$$

La quantité d'électricité q' en traversant le galvanomètre G communique à l'aiguille une impulsion α; d'autre part le courant I′ fait prendre à l'aiguille une déviation permanente δ. En conséquence

$$\frac{q'}{I'} = \frac{\alpha T}{\pi \operatorname{tg} \delta} = \frac{M}{R}\,\frac{(R + r)(R + r') + R^2}{(R + r)(R + r') - R^2}.$$

Si l'on choisit les résistances r et r' très grandes par rapport à R, le coefficient de $\frac{M}{R}$ peut être développé en une série très convergente de laquelle on déduit

$$R = M\,\frac{\pi}{T}\,\frac{\operatorname{tg}\delta}{\alpha}\left[1 + \frac{2R^2}{rr' + R(r + r')} + \ldots\ldots\right]$$

ou encore avec une approximation moindre

$$R = M\,\frac{\pi}{T}\,\frac{\operatorname{tg}\delta}{\alpha}.$$

[1] Voir G. LIPPMANN. *Unités électriques absolues*. MASCART et JOUBERT. *Électricité et Magnétisme*.

La méthode d'induction mutuelle a été appliquée par Roïti, par Himstedt, par Mascart,... etc.

Pour substituer à l'observation de l'impulsion α une déviation permanente α, Roïti (1884) laisse les deux bobines fixes et coupe le courant n fois par seconde, le galvanomètre recevant l'électricité induite seulement à l'établissement ou bien à la suppression du courant.

Il vient alors

$$i_1 = nm_1 = \frac{h}{g} \operatorname{tg} \alpha.$$

En arrêtant le commutateur la déviation devient δ et l'on a

$$I_1 = \frac{h}{g} \operatorname{tg} \delta.$$

Comme au degré d'approximation adopté

$$\frac{i_1}{I_1} = \frac{M}{R},$$

on a

$$R = nM \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Dans les expériences de Himstedt (1885) les deux circuits B et B′ sont distincts; B comprend la bobine inductrice, un interrupteur, la pile et une dérivation extérieure à la pile et à la bobine formée de deux fils ayant pour résistances r et w_0; B′ comprend un interrupteur, le galvanomètre, et un fil de résistance r, on règle la résistance w_1 de ce circuit de manière à satisfaire à la condition $w_1 = r + w_0$.

En interrompant le circuit principal n fois par seconde et réglant les interrupteurs de manière à admettre dans le galvanomètre seulement les courants d'ouverture (ou de fermeture) on a, si α_1 est la déviation permanente observée

$$G \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{niM}{w_1}. \qquad (1)$$

En fermant d'autre part le circuit principal d'une manière durable après avoir remplacé w_0 par le circuit secondaire d'où l'on a supprimé la résistance r, le courant constant reprendra la valeur i et l'on aura

$$G \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{ri}{w_1} \qquad (2)$$

α_2 étant la nouvelle déviation observée. En éliminant i entre les équations (1) et (2) il vient

$$r = nM \frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1}$$

M. Mascart (1884) s'est servi de l'induction mutuelle relative à deux cadres concentriques produite par une seule inversion du courant inducteur. On a alors pour la résistance du circuit induit

$$R = 2 MI \frac{g}{h} \frac{\pi}{0T}.$$

Une boussole des tangentes donne $I = \frac{h'}{g'} \operatorname{tg} \alpha$.

En observant les déviations δ et δ' communiquées aux aiguilles : 1° de la boussole des tangentes, 2° du galvanomètre balistique on peut éliminer le rapport $\frac{gh'}{g'h}$ qui est peu accessible au calcul. Finalement on a

$$R = 2M \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \delta'} \frac{\pi}{0T} \operatorname{tg} \alpha.$$

C'est aussi au groupe des méthodes fondées sur l'induction mutuelle qu'appartient celle que j'ai appliquée. C'est une méthode de zéro, il n'y a donc aucune déviation à observer.

Elle procède de la méthode de Kirchoff et d'une méthode due à M. Lippmann ayant pour objet la détermination d'un étalon électrique de temps.

DATE	OBSERVATEUR	VALEUR DE L'OHM en colonne de mercure.
	Méthode calorimétrique.	
1866	Joule	106,22
1867	Joule	106,10
1877	H.-F. Weber	105,88
1885	Flechter	105,95

DATE	OBSERVATEUR	VALEUR DE L'OHM en colonne de mercure.
	Induction dans un cadre par une rotation de 180°.	
1874	F. Kohlrausch.	105,91
1884	Mascart, de Nerville et Benoit .	106,37
1884	G. Wiedmann.	106,19
	Décharge induite par un courant.	
1878	Rowland	106,16
1882	Glazebrook	106,29
1883	Kimball.	106,25
1884	Mascart, de Nerville et Benoit	106,30
1884	H.-F. Weber	105,37
1884	Rowland et Kimball.	106,31
	Courant moyen d'une série de décharges induites.	
1884	Roïti	105,89
1885	Himstedt	105,98
1899	Guillet	106,21
	Amortissement des aimants.	
1882	Dorn	105,46
1884	Wild	106,03
1884	H.-F. Weber.	105,26
1884	Baille.	105,67
	Action moyenne du courant induit dans un cadre tournant.	
1865	Comité de l'Association britannique	104,83
1881	L. Rayleigh et Schuster. . . .	105,95
1882	L. Rayleigh	106,25
1882	H.-F. Weber	106,16
	Courant d'induction continu.	
1873	Lorenz	107,10
1883	L. Rayleigh et Mrs Sidgwich .	106,22
1884	Lorenz	106,19
1884	Lorenz	106,13
1884	Rowland, Kimball et Duncan. .	106,29
1885	Lenz	105,93
1889	Lippmann et Vuilleumier. . .	106,27

Ce tableau résume les résultats fournis par l'application des méthodes exposées plus haut.

II. — Principe de la méthode

Dans le but d'établir un étalon électrique de temps M. Lippmann a imaginé la méthode suivante [1] :

[1] G. Lippmann. Sur une unité de temps absolue (*Comptes rendus*, 1887).

Une pile de force électromotrice E actionne en même temps les deux circuits antagonistes d'un galvanomètre Thomson monté en différentiel. Le premier circuit, de résistance R, est le siège d'un courant continu ; dans le second circuit la pile envoie une série discontinue de décharges obtenues en chargeant périodiquement, à l'aide de la pile, un condensateur de capacité C que l'on décharge ensuite à travers ledit circuit.

L'aiguille du galvanomètre reste en équilibre si les deux courants débitent des quantités d'électricité égales pendant un temps τ.

Soit t l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux décharges, l'équation d'équilibre est :

$$t = CR. \qquad (1)$$

La seconde étant prise pour unité de temps, et n désignant le nombre des décharges envoyées au galvanomètre en une seconde, l'équation d'équilibre devient

$$\frac{1}{n} = cv^{-2} R \qquad (2)$$

si c mesure la capacité du condensateur en unités électrostatiques.

M. Abraham a appliqué sous cette forme la méthode de M. Lippmann dans le but de déterminer le rapport v [1].

Si l'on veut simplement utiliser la méthode au point de vue tachymétrique, comme l'a fait M. Limb [2], il suffit d'agir, au moyen d'un frein, sur l'axe dont on veut maintenir la vitesse angulaire constante, de façon à empêcher tout mouvement de l'aiguille du galvanomètre.

Il est clair que le condensateur peut être remplacé par tout système fournissant périodiquement une même quantité d'électricité. Si par exemple un interrupteur quelconque établit et supprime n fois par seconde un courant dans un circuit de résistance R_1 com-

[1] Sur une nouvelle détermination du rapport v (thèse de doctorat 1892).

[2] Méthode pour la mesure directe des forces électromotrices en valeur absolue (*Comptes rendus*, 1894).

prenant une bobine, un cadre entourant la bobine recevra par seconde $2n$ charges induites. En les dirigeant dans l'une des bobines d'un galvanomètre Thomson dont l'autre bobine fait partie du circuit de résistance R parcouru par un courant compensateur, l'équation d'équilibre (2) devient

$$\frac{2nL_m}{R_2R_1} = \frac{1}{R} \qquad (3)$$

les bobines sont supposées ici électromagnétiquement équivalentes et L_m désighe le potentiel mutuel des deux bobines.

La formule suppose que l'on utilise l'induction à l'établissement et à la suppression du courant.

Sous cette forme la méthode de M. Lippmann se prête soit à la mesure d'un potentiel mutuel L_m, une résistance R ou R_1 étant connue ([1]), soit à la détermination d'une grande résistance en valeur absolue.

Principe de la méthode. — Dans un travail réalisé en 1892 ([2]), et que j'ai repris récemment, je me suis proposé de mesurer directement une grande résistance en valeur absolue.

Voici en principe le dispositif adopté :

La bobine B (fig. 1) de section s et portant n_1 spires par centimètre, est traversée par un courant d'intensité I; elle produirait, si elle était de longueur infinie un champ cylindrique uniforme d'intensité

$$4\pi n_1 I$$

Un cadre C portant N spires entoure la bobine. Le flux embrassé par ce cadre a pour expression

$$\mathfrak{F} = 4\pi n_1 INs.$$

La quantité d'électricité induite dans le cadre par l'établissement ou la suppression du courant I a pour valeur

$$\frac{4\pi n_1 INs}{R_2} = \frac{L_m I}{R_2}$$

R_2 mesure la résistance totale du circuit induit et $L_m = 4\pi n_1 Ns$ le potentiel mutuel des deux circuits.

Correction des bouts. — Pour que tout se passe comme si la bobine inductrice était

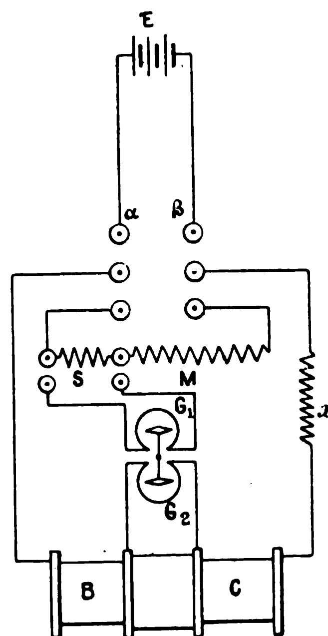


Fig. 1.

infiniment longue, il suffit de serier avec le cadre central d'autres cadres identiques placés dans l'axe du système précédent et distants les uns des autres d'une longueur égale à celle de la bobine inductrice.

En effet, pour corriger l'effet d'induction sur le cadre central il faudrait, d'après la méthode indiquée par M. Lippmann ([1]), faire subir à la bobine inductrice finie une série de translations égales à sa propre longueur et ajouter les décharges induites à la première.

Il m'a paru préférable, dans le cas actuel, de supprimer la correction, ou plutôt de la rendre plus expéditive, par l'emploi des bobines sériées.

Explicitons R_2 et I : la résistance du circuit

([1]) H. Abraham. — *Journal de Physique* (avril 1894).

([2]) Voir *Comptes rendus des travaux de l'École des Hautes études.*

([1]) G. Lippmann. Correction expérimentale des bouts. *Comptes rendus*, 1897.

induit comprend nécessairement la résistance B de q cerceaux sériés, la résistance G_2 de la bobine du galvanomètre Thomson qui reçoit les décharges et celle j' des fils de jonction. Ainsi

$$R_2 = B + G_2 + j' \text{ (circuit induit).}$$

D'autre part

$$I = \frac{V}{R_1}$$

R_1 étant la résistance du circuit inducteur et V la différence de potentiel entre les deux points d'attache α, β (fig. 1).

Remarquons que l'on a

$$R_1 = b + x + j \text{ (circuit inducteur)}$$

b étant la résistance de la bobine inductrice, x la résistance à estimer en valeur absolue et j celle des conducteurs de jonction.

La décharge a donc finalement pour expression

$$Q = \frac{L_m V}{R_1 R_2}.$$

En utilisant les quantités d'électricité induites à l'établissement et à la suppression du courant inducteur I, on double l'effet.

Le commutateur est construit de manière à établir et à supprimer deux fois par tour le courant inducteur. Si donc il fait ν_1 tours par seconde, la quantité d'électricité lancée dans la bobine G_2 par seconde est

$$Q_1 = \frac{4 L_m \nu_1 V}{R_1 R_2}.$$

Dans la seconde bobine de résistance G_1, faisons passer un courant compensateur. Pour cela, plaçons sur les bornes α β une très grande résistance fixe M, complétée si l'on veut par une résistance modifiable S, et disposons G_1 en dérivation sur S (fig. 1). La bobine G_1 est alors traversée par le courant

$$I_1 = \frac{S}{S + G_1} I.$$

D'autre part tout se passe comme si l'on branchait sur α β la résistance

$$\mathfrak{R} = M + \frac{SG_1}{S + G_1}$$

donc

$$I = \frac{V'}{M + \frac{SG_1}{S + G_1}}$$

et par suite

$$I_1 = \frac{S}{S + G_1} \frac{V'}{M + \frac{SG_1}{S + G_1}}.$$

En employant un galvanomètre à bobines correctrices, on peut régler l'appareil de façon que l'aiguille reste au zéro lorsque le même courant passe en sens inverse dans les bobines G_1 et G_2.

L'équation d'équilibre électromagnétique est alors

$$Q_1 = I_1 \qquad (I)$$

ou

$$\frac{4 L_m \nu_1 V}{R_1 R_2} = \frac{S}{S + G_1} \cdot \frac{V'}{\mathfrak{R}}$$

$\mathfrak{R}$ mesure la résistance d'ensemble du circuit relatif à la compensation.

Correction relative à la coupure périodique de l'inducteur. — Si les circuits inducteur et de compensation étaient en permanence sur les bornes α β, on aurait

$$V' = V.$$

Mais comme le circuit inducteur est périodiquement coupé, la valeur de V' est tantôt égale à V et tantôt égale à V_1. En désignant par f la fraction du temps pris pour unité, la période du commutateur quel qu'il soit, pendant laquelle les circuits inducteur et de compensation sont simultanément actifs, on peut dire que tout se passe comme si le circuit compensateur était alimenté par une force électromotrice constante

$$V' = fV + (1 - f) V_1$$

En mesurant directement le rapport

$$\frac{V_1}{V} = b.$$

on obtient :

$$V' = [f + b(1 - f)] V.$$

...

La valeur de f dépend de la nature et de la construction du commutateur employé.

Il est facile de calculer V et V_1, mais, au point de vue expérimental, il est préférable de mettre V' sous la forme précédente.

En désignant par E la force électromotrice de la batterie d'accumulateurs qui fournit le courant et par ρ la résistance intérieure de cette batterie et des fils d'amener en α et β. On a

$$V = E - \rho i ; \qquad V_1 = E - \rho i_1$$

i et i_1 mesurent les intensitésdu courant total lorsque les deux circuits considérés sont alimentés ou seulement le circuit de compensation. Dans le premier cas la résistance fixée sur $\alpha\,\beta$ a pour valeur

$$\mathfrak{R}' = \frac{\mathfrak{R} R_1}{\mathfrak{R} + R_1}$$

Les valeurs de i et i_1 sont par suite

$$i = \frac{E}{\mathfrak{R}' + \rho} ; \qquad i_1 = \frac{E}{\mathfrak{R} + \rho}$$

et l'on a

$$V = E\left(1 - \frac{\rho}{\mathfrak{R}' + \rho}\right); \qquad V_1 = E\left(1 - \frac{\rho}{\mathfrak{R} + \rho}\right)$$

Ces formules servent aux corrections.

Equation complète exprimant l'équilibre. — Si le galvanomètre est dépourvu de bobines correctrices, ou si l'on désire s'affranchir du réglage laborieux qu'elles exigent, il faut tenir compte du rapport des effets électromagnétiques des deux bobines G_1, G_2.

Supposons le courant qui passe dans G_2 p fois plus faible que le courant passant dans G_1 qu'il équilibre l'équation (1) devient

$$pQ_1 = I_1$$

ou

$$p\,\frac{4 L_m \nu_1 V}{R_1 R_2} = \frac{S}{S + G_1} \cdot \frac{1}{\mathfrak{R}} \cdot [f + b(1 - f)] V$$

On a donc finalement :

$$R_1 = 4 p L_m \nu_1 \frac{\mathfrak{R}}{R_2}\left(1 + \frac{G_1}{S_1}\right)\frac{1}{f + b(1 - f)}$$

En posant

$$r_1 = \frac{\mathfrak{R}}{R_2}, \qquad \gamma_1 = \frac{G_1}{S_1}$$

et

$$\varphi_1 = \frac{1}{f + b(1 - f)}$$

il vient

$$R_1 = 4 p L_m \nu_1 r_1 (1 + \gamma_1) \varphi_1. \qquad (1)$$

Elimination du rapport p. — Pour n'avoir pas à déterminer directement le coefficient p, qui dépend de la position qu'occupe l'équipage magnétique par rapport aux bobines G_1 et G_2, et pour éliminer divers effets provenant d'une dissymétrie de construction, il est bon de grouper les données de deux équilibres consécutifs. Au premier équilibre correspond l'équation (1), on échange alors les rôles des galvanomètres G_1 et G_2 et un second équilibre donne

$$R_1 = 4\,\frac{1}{p}\,L_m \nu'_1 r_2 (1 + \gamma_2) \varphi_2. \qquad (2)$$

En multipliant membre à membre les équations (1) et (2) il vient enfin :

$$R_1 = 4 L_m \sqrt{\nu_1 \nu'_1 \cdot r_1 r_2 \cdot (1 + \gamma_1)(1 + \gamma_2) \cdot \varphi_1 \varphi_2}. \qquad (I)$$

Remarque. — Les équations qui définissent les intensités des courants induit et inducteur en fonction du temps montrent que la self induction des circuits n'intervient pas, si ce n'est bien entendu dans la durée de la phase variable.

Mesures à effectuer. — Le calcul de R_1 exige donc la détermination expérimentale préalable :

1° Des nombres de périodes ν_1, ν_1' effectuées en une seconde par le commutateur dans les deux équilibres groupés ;

2° Des quatre rapports de résistances r_1, γ_1 ; r_2, γ_2 ;

3° Du potentiel mutuel L_m des deux circuits, effectué plusieurs fois au cours des recherches.

4° Des rapports f et b qui intéressent le facteur correctif φ.

Les rapports peuvent être obtenus avec une grande précision; la détermination précise des valeurs ν et L_m présente plus de difficultés.

Chaque série comprend deux groupes de mesures obtenues, le premier en intercalant la longue bobine dans le circuit inducteur et le second en intercalant les petites bobines dans le circuit inducteur.

Des commutateurs permettent d'échanger, par renversement de leurs cavaliers, les *parties actives* des circuits inducteur et induit.

Il faut éviter soigneusement la présence du fer dans le voisinage des circuits car son aimantation, sous l'action du courant inducteur, contribuerait à l'induction et la formule (I) cesserait d'être applicable.

Des thermomètres placés en divers points du circuit doivent être fréquemment observés.

Valeur de K. — La résistance R_1 connue en unités absolues se compose de la boîte K (fig. 5) et du circuit A. Pour obtenir K on mesure le rapport

$$\frac{K}{K+A} = \lambda$$

et l'on a

$$K = \lambda . R_1,$$

La résistance R_1' relative au second circuit fournit de même

$$K = \lambda' R'_1$$

L'ensemble des mesures relatives à une sériecomplète exige une journée et le calcul des résultats un temps à peu près égal, mais tout se fait avec précision et commodité en disposant les appareils comme il est expliqué plus loin.

(*A suivre.*)

A. Guillet.

ÉTUDE SUR LA TRANSMISSION ET LA DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE

PAR LES COURANTS ALTERNATIFS [1]

TROISIÈME PARTIE

ÉTUDE SPÉCIALE DES PROPRIÉTÉS DES MACHINES D'INDUCTION

3° *Récupérateur électrique*. — Nous désignerons ainsi l'appareil que nous allons décrire.

Il se compose essentiellement d'un cadre galvanométrique *abcd* (fig. 33) suspendu au milieu d'un champ magnétique d'intensité constante et susceptible d'osciller autour d'une position moyenne. Un galvanomètre Deprez-d'Arsonval le représente sous sa forme la plus élémentaire.

Intercalons ce cadre dans un circuit parcouru par un courant alternatif. Nous allons voir qu'en général, il sera le siège d'une force électromotrice de même phase que celle qui serait développée entre les bornes d'un condensateur mis à sa place. Il amènera donc, comme celui-ci, une diminution apparente du coefficient de self-induction du circuit où il aura été intercalé.

Désignons par

μ le moment d'inertie du cadre;

θ l'angle que fait son plan médian avec un plan passant par l'axe de suspension du système, pris pour origine;

$k\theta$ la réaction élastique des fils de suspension;

$\frac{d\theta}{dt}$ la force d'amortissement due à la viscosité du milieu;

(1) *L'Éclairage Électrique* du 1er avril 1899, t. XVIII, p. 488.

J l'intensité du champ supposé uniforme au milieu duquel peut osciller le cadre;

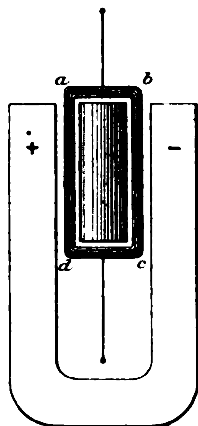


Fig. 33.

$i = a \sin 2\pi\alpha t$ l'intensité du courant lancé dans son circuit;

r la résistance du cadre;

l son coefficient de self-induction.

Le cadre sera soumis, à chaque instant, aux effets d'un couple moteur M proportionnel à l'intensité du champ J et à l'intensité du courant i. Nous pourrons donc poser, en désignant par A une constante dépendant du mode de construction de l'appareil :

$$M = AJa \sin 2\pi\alpha t.$$

La loi du mouvement de ce cadre sera donnée par l'équation

$$\mu \frac{d^2\theta}{dt^2} + q\frac{d\theta}{dt} + k\theta = AJa \sin 2\pi\alpha t. \qquad (1)$$

Le voltage développé entre les extrémités du cadre sera dû, d'une part, à sa résistance et à son coefficient de self-induction; d'une autre, à son déplacement au milieu d'un champ. Nous pourrons écrire, en appelant E ce voltage et en désignant par B une seconde constante dépendant aussi du mode de construction de l'appareil,

$$E = ri + l\frac{di}{dt} + BJ\frac{d\theta}{dt}.$$

Nous allons chercher l'expression du voltage E en fonction des quantités désignées ci-dessus.

Nous ne considérerons ici que les phénomènes ayant lieu à l'état de régime permanent. Il nous suffit donc de trouver une solution particulière de l'équation (1), ce que nous ferons au moyen d'une simple identification.

Posons, en appelant θ_0 et φ deux constantes représentant : la première un angle, et la seconde une différence de phases.

$$\theta = \theta_0 \sin 2\pi(\alpha t - \varphi). \qquad (2)$$

Nous trouverons immédiatement que l'expression (2) est une solution de l'équation (1), si l'on fait

$$\theta_0 = \frac{AJa}{\sqrt{4\pi^2\alpha^2q^2 + (k - 4\pi^2\alpha^2\mu)^2}}.$$

$$\text{tang}\, 2\pi\varphi = \frac{2\pi\alpha q}{k - 4\pi^2\alpha^2\mu}.$$

On a

$$\frac{d\theta}{dt} = 2\pi\alpha\theta_0 \cos 2\pi(\alpha t - \varphi),$$

d'où

$$E = \left[r + \frac{4\pi^2\alpha^2 q}{4\pi^2\alpha^2q^2 + (k - 4\pi^2\alpha^2\mu)^2}\right] a \sin 2\pi\alpha t.$$
$$+ 2\alpha\left[l + \frac{(k - 4\pi^2\alpha^2\mu)}{4\pi^2\alpha^2q^2 + (k - 4\pi^2\alpha^2\mu)^2}\right] a \cos 2\pi\alpha t.$$

Ainsi le cadre se comportera comme un circuit ayant une résistance

$$\rho = r + \frac{4\pi^2\alpha^2 q}{4\pi^2\alpha^2q^2 + (k - 4\pi^2\alpha^2\mu)^2}$$

et un coefficient de self-induction

$$\lambda = l + \frac{(k - 4\pi^2\alpha^2\mu)}{4\pi^2\alpha^2q^2 + (k - 4\pi^2\alpha^2\mu)^2}.$$

Si l'on a $k > 4\pi^2\alpha^2\mu$, c'est-à-dire si la réaction élastique est plus grande que la force d'inertie, le cadre se comporte comme une bobine de self-induction.

Mais nous pourrons toujours rendre nulle la réaction élastique des supports, en les constituant par de simples pivots. Nous aurons alors

$$\rho = r + \frac{(AB)J^2 q}{q^2 + 4\pi^2\alpha^2\mu^2}, \quad \lambda = l + \frac{(AB)J^2\mu}{q^2 + 4\pi^2\alpha^2\mu^2}.$$

En général, les forces d'amortissement seront petites par rapport aux forces d'inertie et nous pouvons négliger le terme q^2 devant le terme $4\pi^2\alpha^2\mu^2$. Nous pourrons donc écrire plus simplement

$$\rho = r + \frac{(AB)\,J^2 q}{4\pi^2\alpha^2\mu^2}, \quad \lambda = l - \frac{(AB)J^2\mu}{4\pi^2\alpha^2\mu}.$$

Si la quantité λ devient négative, l'appareil se comporte comme un condensateur. Les formules ci-dessus montrent que ce résultat sera obtenu d'autant plus facilement que le cadre sera plus léger, qu'il oscillera dans un champ plus puissant et que l'on aura affaire à des courants de plus basse fréquence.

Nous avons supposé, dans ce qui précède, que le cadre galvanométrique oscillait au milieu d'un champ uniforme. Il faut, pour cela, que ses branches verticales demeurent toujours situées au-dessous des épanouissements polaires des aimants ou électro-aimants qui engendrent le champ. Dans ces conditions, l'angle maximum, que pourront faire entre elles les positions extrêmes du cadre, sera inférieur à 180°. Nous pourrons permettre au système oscillant d'effectuer un nombre de tours quelconque autour de son axe, alternativement dans un sens et dans l'autre, en adoptant la disposition représentée sur la figure 34.

Autour d'un axe xy sont superposées deux pièces de révolution en acier AA et BB. Dans leur intérieur est ménagée une cavité où on loge une bobine magnétisante MM. Celle-ci, excitée par un courant continu, détermine la production d'un champ au travers de l'entrefer séparant les pièces AA et BB, comme on le voit sur la figure 34.

Dans cet entrefer sont disposés :

1° Un disque de cuivre *ab* calé sur l'axe *xy* et mobile avec lui :

2° Un disque de cuivre *cd* appliqué contre la paroi inférieure de la pièce AA, mais isolé de cette dernière.

Une rigole circulaire *rr*, isolée des masses, s'étend le long de la circonférence extérieure de la pièce BB ; elle est remplie de mercure. Les rebords convenablement emboutis des disques *ab* et *cd* plongent dans cette rigole. On conçoit dès lors que si, par un procédé quelconque, on fait pénétrer un courant en E dans l'axe du système, il pourra suivre le disque mobile, passer dans le disque fixe grâce au contact de mercure et revenir

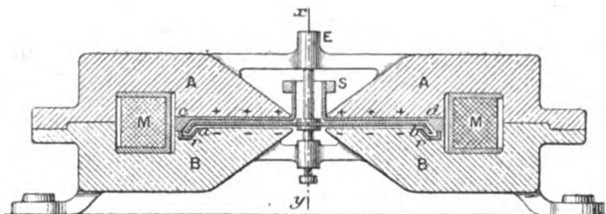


Fig. 34.

au centre de l'appareil, où une prise de courant S permettra de le recueillir.

Si ce courant est alternatif, le disque mobile prendra un mouvement oscillatoire autour de son axe. Tout ce que nous avons dit précédemment peut être répété, l'amplitude des oscillations pouvant être quelconque.

Le coefficient de self-induction du circuit constitué par les disques sera très sensiblement nul, car le seul flux que pourra développer tout courant lancé dans ce circuit sera un flux annulaire se développant dans la portion très étroite de l'entrefer qui sépare les deux disques.

On peut voir immédiatement qu'un semblable appareil sera très efficace si l'on fait traverser ses disques par des courants ayant une fréquence comprise entre 1 et 2, tels que ceux qui seront developpés dans les circuits induits de nos génératrices.

Supposons que la densité efficace du courant dans le disque mobile soit de 5 ampères par millimètre carré, que sa fréquence soit égale à 2 et que l'intensité du champ développé par la bobine MM soit égale à 5000.

Chaque centimètre cube de cuivre sera soumis à une force F ayant pour expression

$$F = 25\sqrt{2} \, . \, 10^5 \sin 2\pi(2)\, t \text{ dynes.}$$

La densité du cuivre étant 8,91, la vitesse

maxima que pourra atteindre ce centimètre cube du cuivre, si rien ne le gène dans son mouvement, sera égale à $\frac{25\sqrt{2}.\ 10^4}{2\pi \times (2) \times 8{,}91} = 3150$ cm.

Soit une vitesse de 31,50 m par seconde.

Cela suffit pour montrer que le disque mobile de l'appareil représenté sur la figure 32 pourra prendre une vitesse moyenne très grande. Il pourra donc produire les forces électromotrices de faible fréquence qu'on lui demande, en utilisant bien les matériaux employés dans sa construction. Il conviendra de le faire traverser par des courants de très forte intensité : pour cela, il faudra constituer avec des barres les circuits induits de génératrices, ce qui ne présentera aucun inconvénient.

La disposition que nous venons de décrire n'est donnée qu'à titre d'exemple. On pourrait lui objecter l'emploi du mercure qui se salit toujours rapidement et les frottements auxquels il donnerait naissance. Il serait facile de remplacer la rigole de mercure par des frotteurs métalliques.

D'autre part une dynamo quelconque à courant continu, dont les balais seraient disposés pour qu'elle pût tourner aussi bien dans un sens que dans l'autre, pourrait rendre les mêmes services. Il conviendrait d'employer une dynamo à armature légère comme celle du type Desroziers.

La vitesse moyenne du mouvement de rotation de ces machines étant toujours considérable, elles utiliseraient bien leurs matériaux, et le travail apparent qu'elles auraient à fournir étant petit, à cause de la petitesse de la différence $(\alpha - n\,\omega)$, leurs dimensions seraient très réduites par rapport à celle de la génératrice qu'elles devraient accompagner.

Observation. — L'appareil que nous venons de décrire a, comme un condensateur, une action différente suivant qu'il est parcouru par des courants d'une fréquence ou d'une autre.

Nous savons que les courants alternatifs, engendrés dans les circuits induits d'une machine d'induction à courants alternatifs simples, ont des intensités J et J'.

$$J = \quad J_1 \sin 2\pi\,[(\alpha - n\omega)\,t - \varphi] - J_2 \sin 2\pi\,[(\alpha + n\omega)\,t - \psi],$$
$$J' = - J_1 \cos 2\pi\,[(\alpha - n\omega)\,t - \varphi] - J_2 \cos 2\pi\,[(\alpha + n\omega)\,t - \psi].$$

Ces circuits sont donc parcourus simultanément par des courants de fréquence $(\alpha - n\,\omega)$ ou $(\alpha + n\,\omega)$. Il en résulte que, s'ils sont fermés sur des récupérateurs électriques, il convient d'attribuer à leur coefficient de self-induction deux valeurs différentes Λ_1 et Λ_2, suivant que l'on considère les effets produits par le passage des courants de fréquence $(\alpha - n\,\omega)$ ou $(\alpha + n\,\omega)$.

L'expression de la quantité de travail fournie par la machine devient

$$\mathcal{T}_1 = \frac{\pi}{2}(n\omega)\,\mu^2\rho A^2 \left[\frac{2\pi(\alpha - n\omega)}{\rho^2 + 4\pi^2(\alpha - n\omega)^2 \Lambda_1^2} - \frac{2\pi(\alpha + n\omega)}{\rho^2 + 4\pi^2(\alpha + n\omega)^2 \Lambda_2^2} \right].$$

Son examen nous montre que, s'il y a tout intérêt à réduire le terme Λ_1, il n'y en a aucun à réduire le terme Λ_2.

Quant à la quantité que nous avons appelée Q et dont l'expression est devenue

$$Q = 2\pi\alpha \left\{ L - \frac{4\pi^2(\alpha - n\omega)^2 \Lambda_1 \mu^2}{2[\rho^2 + 4\pi^2(\alpha - n\omega)^2 \Lambda_1^2]} - \frac{4\pi^2(\alpha + n\omega)^2 \Lambda_2 \omega^2}{2[\rho^3 + 4\pi^2(\alpha + n\omega)^2 \Lambda_2^2]} \right\},$$

il suffit de pouvoir disposer du terme A_1, pour la rendre négative.

Or nous pouvons réduire autant que nous le voulons le terme A_1, sans diminuer d'une manière appréciable le terme A_2, en fermant les circuits induits de notre génératrice sur des récupérateurs électriques. En effet, si la vitesse de leurs mouvements déterminés par le passage d'un courant de fréquence $(\alpha - n\,\omega)$ est grande, celle des mouvements déterminés par le passage d'un courant de fréquence $(\alpha + n\,\omega)$ sera pratiquement nulle. Ils ne pourront donc être le siège d'autres forces électromotrices de fréquence $(\alpha + n\,\omega)$ que

celles dues à leur résistance ohmique ou à leur self-induction.

Le cofficient de self-induction de l'armature de l'appareil représentée sur la figure 34 peut être considéré comme nul. Si on lui substituait une dynamo quelconque à courant continu, on obtiendrait le même résultat en disposant des circuits amortisseurs dans les épanouissements polaires de ses inducteurs. Ceux-ci s'opposeraient, en effet, à la production de tout flux variable dans la région de l'espace où se déplacerait l'armature de la machine.

Il sera inutile, dans ces conditions, de munir la machine d'induction de circuits induits spéciaux fermés sur eux-mêmes, comme il conviendrait de le faire si l'on se servait de l'excitatrice précédemment décrite.

4° *Conclusion.* — Nous possédons désormais deux systèmes donnant la solution du problème de la production de courants alternatifs au moyen de machines d'induction et ne comportant que l'emploi d'appareils semblables à des machines à courant continu, dont les dimensions, par rapport aux génératrices qu'ils accompagneront, seront du même ordre de grandeur que celui de l'excitatrice à courant continu qui devrait accompagner un alternateur ordinaire de même puissance.

Les récupérateurs électriques présentent cet avantage qu'ils ne comportent aucune commande mécanique. Il est vrai qu'il faut les exciter avec un courant continu, mais cela ne présentera aucun inconvénient dans une usine électrique. Nous verrons plus loin que l'on aura au contraire avantage à se servir de l'excitatrice spéciale, lorsque la machine d'induction sera employée comme réceptrice et non plus comme génératrice.

D'après ce qui précède, les machines asynchrones employées comme génératrices doivent toujours être associées à un alternateur qui imposera la fréquence et le voltage ou l'intensité du courant fourni au réseau. Ce serait une sujétion que d'avoir à employer, dans une usine, des machines de types différents. Mais, comme nous l'avons vu dans la première partie de cette étude, notre alternateur à voltage constant était construit comme une machine asynchrone.

Il est donc possible de n'avoir que des génératrices semblables et d'avoir seulement une excitatrice spéciale qui permettra de transformer à volonté l'une d'elles en alternateur à voltage constant ou à intensité constante.

Le mode de conduite d'une semblable installation sera des plus simples. Il reposera sur le principe suivant :

Les machines d'induction accouplées en parallèle ou en série avec un alternateur à voltage constant ou à intensité constante travailleront toujours à pleine charge, ces machines étant mises en service au fur et à mesure des besoins de la consommation. Seule la charge de l'alternateur pourra varier, suivant les cas, entre o et son maximum.

Les machines d'induction travaillant toujours dans les mêmes conditions, on n'aura aucun réglage à faire subir à leurs excitatrices ou aux récupérateurs électriques dont elles seront munies. Mais il faut pour cela que leur vitesse de rotation soit supérieure d'une quantité déterminée à celle de l'alternateur, de manière que la différence $(n\omega - \alpha)$ demeure constante quand bien même la fréquence α subirait des variations de l'ordre de grandeur de cette différence.

Ce résultat sera naturellement obtenu de la manière suivante :

1° La valeur β de la fréquence $(n\omega - \alpha)$, correspondant à la charge maxima des machines d'induction, sera choisie de telle manière que le couple résistant développé sur leur axe, qui est nul pour $n\omega - \alpha = 0$, continue à croître si la fréquence $(n\omega - \alpha)$ devient supérieure à la fréquence β.

2° L'admission maxima, dans la machine à vapeur qui conduira la machine d'induction, correspondra au développement d'un couple moteur égal au couple résistant de la machine d'induction lorsqu'elle est en pleine charge.

Si le moteur est une turbine, tous ses orifices devront être ouverts lorsque la machine d'induction aura pris sa pleine charge.

3° Si le régulateur de vitesse du moteur de l'alternateur est réglé pour une vitesse ω, les régulateurs des moteurs des machines d'induction recevront une surchage telle, qu'ils n'entrent en action que lorsque ces moteurs auront pris une vitesse ω' supérieure à ω et telle que la différence $\omega - \omega'$ soit plus grande que la quantité $\frac{\beta}{n}$.

Dès lors, si nous venons à accoupler une machine d'induction avec un alternateur, sa vitesse de rotation ira en augmentant graduellement sous l'influence de son moteur et dépassera celle de l'alternateur. A partir de ce moment, sa charge ira en croissant avec sa vitesse. L'équilibre dynamique sera établi lorsque la vitesse de rotation de la machine d'induction sera égale à celle de l'alternateur augmentée de $\frac{\beta}{n}$, et cet équilibre sera stable.

En effet, si la machine d'induction venait à s'accélérer, le couple résistant développé sur son axe deviendrait supérienr au couple moteur et réciproquement.

C'est cette seule condition d'égalité entre les couples moteur et résistant qui déterminera la vitesse de la machine d'induction. Le régulateur de son moteur n'interviendra plus dans le phénomène et ne servira que d'appareil de sécurité.

Les machines d'induction ainsi conduites ou, pour mieux dire, ainsi abandonnées à elles-mêmes, prendront toujours leur pleine charge, tandis que le régulateur du moteur de l'alternateur réglera à chaque instant la grandeur du couple développé sur son axe, de manière qu'il n'ait à fournir que la différence entre l'énergie électrique demandée par le réseau et celle fournie par les machines d'induction.

Pour mettre en service une machine d'induction, on n'aura qu'à la brancher sur le réseau par l'intermédiaire d'un rhéostat ou d'une bobine de self-induction à noyau mobile, après l'avoir mise en vitesse, sans avoir à se préoccuper d'aucune condition de synchronisme et comme s'il s'agissait d'une machine à courant continu.

Si le $\cos \varphi$ du réseau demeure constant, malgré les variations de la consommation, on n'aura aucun réglage à faire et il suffira de mettre en service successivement les machines d'induction chaque fois que l'alternateur aura pris sa pleine charge ou de les en retirer successivement chaque fois que sa charge sera redevenue nulle.

Si le $\cos \varphi$ du réseau varie avec les heures de la journée, il conviendra de régler en conséquence l'excitation des machines d'induction, de manière à faire varier l'intensité du courant déwatté qu'elles fournissent. Si elles sont munies de l'excitatrice spéciale précédemment décrite, on pourra opérer le réglage nécessaire en introduisant dans chacun de ses deux circuits une bobine de self-induction à noyau mobile. Si elles sont munies de récupérateurs électriques, il suffira de faire varier l'intensité du courant d'excitation de ces appareils.

Les variations du $\cos \varphi$ normal d'un réseau étant toujours très lentes, ce réglage n'entraînera aucune sujétion.

Quant aux variations brusques et momentanées du $\cos \varphi$ du réseau dues, par exemple, à la mise en route d'un grand moteur à champ tournant et à cage d'écureuil, elles n'auront aucun effet si la machine génératrice faisant fonction d'alternateur est plus puissante que le plus grand moteur installé sur le réseau, car elle fournira instantanément le supplément de courants déwattés demandés.

VI. — Extension des résultats précédents au cas des machines a courants polyphasés

Ce qui caractérise les machines à courants alternatifs simples, c'est qu'elles tendent à être le siège de deux flux tournant, par rapport à l'induit, en sens inverse l'un de l'autre, l'un avec la vitesse $(\alpha - n\omega)$, l'autre avec la vitesse $(\alpha + n\omega)$. Ce dernier peut être consi-

déré comme un champ parasite au développement duquel on doit s'opposer par tous les moyens possibles.

Ce champ parasite ne tend plus à se produire dans les machines à courants polyphasés et les quantités que nous avons désignées plus haut par les lettres P et Q prennent alors les formes plus simples

$$P = R + 4\pi^2\alpha\,(\alpha - n\omega)\,\frac{\mu^2\rho}{\rho^2 + 4\pi^2\,(\alpha - n\omega)^{22}\Lambda^2},$$

$$Q = 2\pi\alpha\left[L - \frac{4\pi^2\,(\alpha - n\omega)^2\,A^2}{\rho^2 + 4\pi^2\,(\alpha - n\omega)^2\,\Lambda^2}\right].$$

Il est possible alors de répéter tout ce que nous avons dit au sujet des machines à courants alternatifs simples, mais sans avoir à se préoccuper des dispositions spéciales auxquelles nous avons dû avoir recours, dans certains cas, pour nous opposer à la production du champ parasite.

VII. — Observations

1° Il est toujours possible de rendre négative la quantité Q, quelle que soit la différence $\left(\Lambda - \frac{\mu^2}{L}\right)$, c'est-à-dire quelles que soient les fuites magnétiques de la machine génératrice. Il n'est donc pas nécessaire de réduire au minimum leurs entrefers, comme on s'évertue à le faire dans les moteurs à champ tournant.

Cette faculté sera très précieuse lorsqu'il s'agira de construire des machines de grandes dimensions.

2° Tout ce que nous avons dit étant indépendant des grandeurs relatives des coefficients d'induction Λ et $\frac{\mu^2}{L}$, rien n'empêche de disposer des enroulements des circuits inducteurs et induits de manière que ces coefficients d'induction soient égaux, ce qui conduit à la meilleure utilisation des matériaux.

3° Nous avons supposé, à titre d'exemple, que les circuits induits de la génératrice seraient seulement au nombre de deux, mais qu'ils recevraient un enroulement sinusoïdal.

Si l'on n'adoptait pas l'enroulement sinusoïdal, le flux développé dans la génératrice par l'envoi dans ses deux circuits induits de courants d'intensités $i_1 = a \sin 2\pi\,(\alpha - n\omega)\,t$ et $i_2 = a \cos 2\pi\,(\alpha - n\omega)\,t$ n'aurait plus une grandeur constante et il pourrait y avoir production de battements dans l'intensité des courants fournis par cette machine. Il conviendrait de multiplier beaucoup le nombre des circuits induits, mais il faudrait multiplier en même temps le nombre des appareils spéciaux destinés à diminuer artificiellement leur coefficient de self-induction, ce qui serait un grave inconvénient.

Il y a donc lieu d'adopter définitivement cet enroulement sinusoïdal dont l'exécution ne présente d'ailleurs aucune difficulté.

QUATRIÈME PARTIE

EXCITATION DES MOTEURS ASYNCHRONES

Il y aurait le plus grand intérêt : 1° à pouvoir donner un entrefer quelconque à un moteur asynchrone sans réduire la grandeur du couple maximum qu'il peut développer sur son axe pour un voltage donné ; 2° à ce que le cos φ de ces appareils pût être aussi voisin de 1 qu'on le voudrait.

Pour cela, il faut et il suffit que la quantité que nous avons appelée Q soit rendue nulle ou négative alors que la quantité P est devenue positive.

La quantité P devient d'elle-même positive lorsque la machine est employée comme moteur. Pour rendre la quantité Q négative il convient encore de diminuer artificiellement le coefficient Λ, ce à quoi on pourra arriver en employant l'un quelconque des procédés ci-dessus.

Nous l'avons vérifié en fermant sur des bacs électrolytiques les circuits induits d'un moteur triphasé de la puissance de 120 chevaux, à basse tension.

Lorsque les circuits induits étaient fermés sur eux-mêmes, le moteur étant en pleine

****

charge, le courant efficace dans chacune des trois branches était de 1 100 ampères. Cette intensité tombait à 800 ampères, toujours à pleine charge, lorsqu'on introduisait les bacs, et le cos φ du moteur était alors égal à 1.

En pratique, il nous paraît préférable d'employer dans ce cas la machine dite *excitatrice spéciale*, en la faisant mettre en mouvement par la réceptrice elle-même, par exemple en la montant sur son axe. Comme, le plus souvent, on ne disposera pas de courant continu sur le lieu d'emploi d'un moteur, on ne pourrait se servir de récupérateurs électriques sans une installation supplémentaire.

Le cos φ du moteur, muni de cette excitatrice que nous supposerons abandonnée à elle-même et dépourvue de tout appareil de réglage, variera avec sa charge. Mais si l'on détermine l'excitatrice de manière que ce cos φ soit égal à 1, lorsque le moteur a sa charge moyenne, comme une fonction varie toujours très lentement de part et d'autre de son maximum, il conservera, dans tous les cas, une valeur très voisine de 1.

D'autre part, un même réseau desservira généralement un grand nombre de moteurs travaillant sous des degrés de charge différents ; ceux qui auront une charge inférieure à la charge moyenne absorberont des courants déwattés, ceux qui auront une charge supérieure en fourniront. La station génératrice n'aura donc à fournir que la différence qui sera naturellement très petite.

(*A suivre.*)

M. LEBLANC.

NOTES SUR LES AVANTAGES DE L'EMPLOI DES LAMPES PORTATIVES

ET DES GROUPES ÉLECTROGÈNES

POUR L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES USINES

Les besoins des services créent dans les usines qui font leur éclairage électrique elles-mêmes certaines difficultés d'ordre pratique; je me propose d'en indiquer deux ici, d'après mon expérience personnelle.

1° Dans l'installation à laquelle je fais allusion, les machines à vapeur qui faisaient tourner les transmissions générales, actionnaient aussi les dynamos génératrices pendant les heures normales d'éclairage ; mais il fallait de plus assurer l'éclairage des locaux, le matin et le soir, en dehors des vacations, pour les divers travaux des hommes de service, tels que le balayage. On y pourvut avec des accumulateurs; mais cette batterie de secours ne pouvait fournir un débit très considérable. Pour éviter toute dépense de courant anormale, chaque salle fut munie d'un interrupteur, à mettre sur extinction, en dehors des heures régulières de travail. En même temps, une mâchoire destinée à servir de prise de courant fut installée sur la canalisation générale avant l'interrupteur, de manière qu'on pût y prendre le courant, même quand l'interrupteur ouvre le circuit. Dans les grandes salles, on mit plusieurs mâchoires. D'autre part, chaque homme de peine reçut à sa disposition une lanterne contenant une lampe à incandescence, avec long cordon souple et fiche spéciale. On est sûr alors de ne pas avoir une consommation supérieure à celle qui correspond au nombre total de lanternes mises en service. Dans le grand hall, un circuit spécial peut être substitué au circuit normal et assure un éclairage d'ensemble assez restreint, mais suffisant pour les hommes de peine. Dans les dépôts et réserves de matériel, on a été amené à

généraliser l'emploi des prises de courant et des lampes mobiles portatives ; les hommes chargés des manutentions ont toute latitude pour placer les lampes à l'endroit qui est le plus favorable à leur travail ; cette disposition est d'autant plus commode que les ilots de matériel en dépôt ont des formes et configurations variables avec les réceptions et expéditions. Les fils souples ont besoin d'être visités ; il est bon d'adjoindre un fusible à chaque mâchoire. La généralisation des prises de courant et des lampes portatives a permis de faire un bon service dans les sous-sols sans qu'on fût obligé d'augmenter l'importance de la batterie d'accumulateurs.

2° Dans la même installation, on fut amené assez vite à faire l'achat d'un groupe électrogène « moteur et dynamo, accouplés directement ». Je voudrais donner ici les raisons de cet achat, du moins celles qui sont d'une application un peu générale.

L'achat d'un groupe électrogène a permis de supprimer des courroies et a rendu moins dangereux l'accès de la machinerie. L'éclairage a été rendu indépendant de tout accident pouvant affecter le moteur général et les transmissions. On a aussi gagné de la place.

Parmi les diverses causes qui peuvent nécessiter l'arrêt immédiat des transmissions, je puis citer, par exemple, un commencement d'incendie, même très partiel et éloigné, car on peut redouter pour les transmissions les dilatations anormales de la charpente métallique. Je puis citer aussi un accident de personnes ; dans ces divers cas, on peut avoir besoin d'arrêter le moteur à vapeur, sans supprimer l'éclairage dans tout l'établissement. D'autres motifs sont périodiques : les moteurs stoppent, le samedi soir, pour le nettoyage général et la visite des transmissions. Des débrayages convenablement disposés peuvent, il est vrai, aplanir ces difficultés.

Ajoutons que si le moteur est assez puissant, le soir, pour subvenir à un éclairage important, en même temps qu'il fournit la force motrice, ce moteur doit être peu chargé dans la journée et fonctionner alors avec un mauvais rendement. Enfin les variations de travail peuvent amener des variations de vitesse et de petites oscillations dans l'éclat des lampes.

Pour compléter ces explications, j'ajouterai un mot d'une portée moins générale : pendant les soirs d'hiver, le besoin d'éclairage se faisait sentir progressivement ; à un moment de la journée, le premier moteur (150 chevaux indiqués) devenait insuffisant ; il fallait accoupler le moteur n° 2. Cette opération demandait un certain temps. A cette heure, le défaut d'éclairage provenant de l'arrêt de la machine ne plongeait pas les ateliers dans l'obscurité complète ; il y avait cependant un intérêt évident à supprimer cette suspension de travail dans la pénombre du crépuscule. Telles sont les remarques que je me proposais de faire ici au sujet de l'éclairage des usines et des avantages qu'on peut retirer de l'emploi des lampes portatives et de celui des groupes électrogènes.

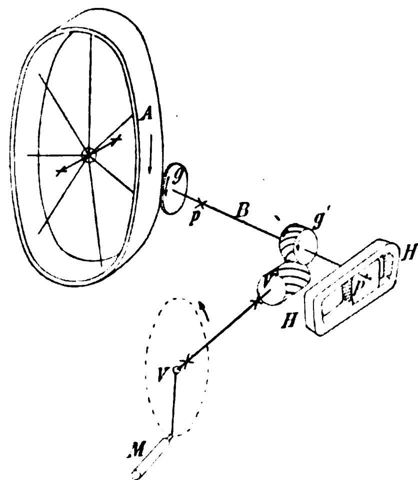


Fig. 1. — Principe du vireur H. Brulé.

J'espère cependant pouvoir intéresser quelques lecteurs en disant un mot de l'accouplement du moteur n° 2 sur le moteur n° 1 ; voici l'opération : le moteur n° 1 s'arrêtait, laissant l'arbre de couche dans une certaine position ; l'embrayage à griffes du moteur n° 2 ne se trouvait généralement pas dans une position favorable pour permettre de mettre

les griffes en prise, en les faisant avancer au moyen du volant à vis. Il était nécessaire

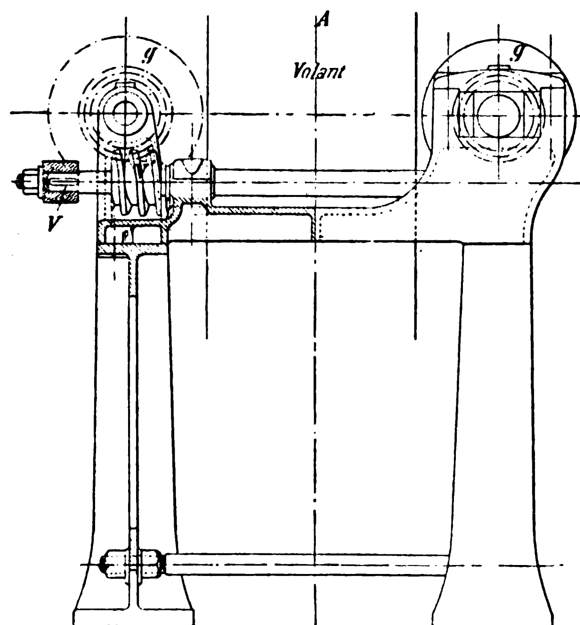


Fig. 2. — Vireur H. Brulé. Élévation.

de faire tourner l'embrayage d'une fraction de tour ; il fallait faire virer le moteur n° 2, pour l'amener dans la position voulue. On pouvait se servir d'un levier et peser sur le volant ; on abîmait les arêtes des massifs sur lesquels on prenait appui. Comme d'autre part, on réchauffait la machine, il pouvait arriver que le virage démasquât les lumières d'admission et que le moteur se mît à partir inopinément ; d'où un danger pour les hommes chargés de la manœuvre si leurs leviers se trouvaient engagés. Les vireurs fournis par la maison Brûlé et Cie, ont supprimé cet inconvénient ; ils permettent d'opérer le virage avec précision et sécurité. Je me contenterai d'indiquer le principe de ces engins. Soit A la roue qu'il s'agit de faire tourner dans le sens de la flèche (fig. 1). En regard de la jante se trouve le galet g monté sur l'arbre B ; cet arbre passe en p dans un trou convenablement ovalisé et évasé, servant de tourillon. Cet arbre pivote à son extrémité dans le coulisseau p' mobile dans la coulisse horizontale HH'. Le mouvement de rotation sera communiqué à l'arbre B, par le pignon g' et la vis tangente VV', au moyen de la manivelle M mue à la main. Voici le fonctionne-

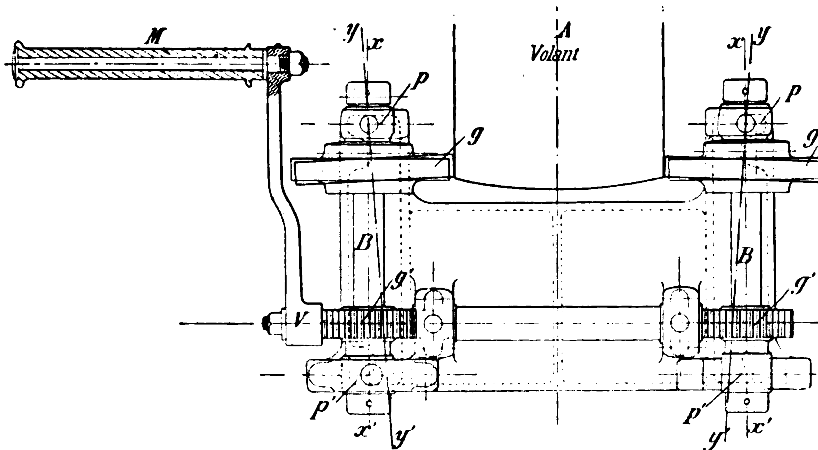


Fig. 3. — Vireur H. Brulé. Plan.

ment de l'appareil. Supposons tout d'abord que le galet g soit écarté à une petite distance de la jante de la poulie A. Quand on tournera la manivelle M, le pignon g' ne tournera pas, à cause des petites résistances passives des tourillons, mais il sera chassé par les filets de la vis tangente qui, en tournant, fera l'effet d'une crémaillère se déplaçant longitudinalement ; le coulisseau p', dans ce mouvement, se rapprochera de H', jusqu'au moment où le galet g sera venu en contact avec la jante de A. L'arbre B se sera déplacé horizon-

talement en éventail en pivotant autour de p.

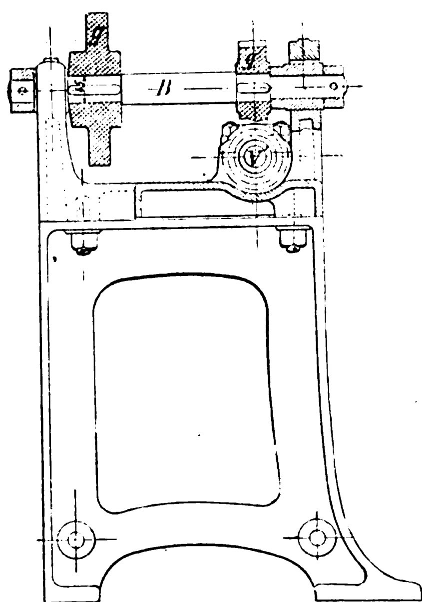


Fig. 4. — Vireur H. Brulé. Élévation transversale.

Dès que le contact est assuré, le galet g' est arrêté dans son mouvement de translation, il est obligé de tourner sur place; le mouvement de rotation de l'arbre B ainsi obtenu est communiqué par le galet g à la jante de A. Si, à ce moment, nous supposons que la jante continue d'elle-même le mouvement commencé, la force motrice lui venant, cette fois, du moteur à vapeur, le galet g recevra tout d'abord son mouvement de rotation de la jante A, mais la rotation du galet g' dans le sens indiqué, sans que la vis tangente tourne ou du moins tourne assez vite, aura simplement pour effet de ramener p' du côté de H, ce qui dégage le galet g; ce dégagement est donc automatique. Tout danger est évité par ce dispositif. En réalité, et comme le montrent les figures 2, 3 et 4, deux galets symétriques agissent sur la jante et la position relative des tourillons est telle que les efforts effectués tendent à consolider les vireurs et non à soulever leurs boulons de fondation. Ce dispositif, qui d'ailleurs n'est pas une nouveauté, semble peu connu : il est très recommandable. J.-B. Pomey.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Nouvelle lampe électrique à incandescence dite « lampe aux nitrates » (1).

C'est un fait connu que le rendement lumineux de la lampe à incandescence à filament de charbon ou d'autre conducteur de la même catégorie est très faible et que l'on peut obtenir de meilleurs résultats avec des conducteurs électrolytiques, comme le prouvent les lampes à incandescence présentées par Jablochkoff et dernièrement par le professeur Nernst.

Ce mauvais rendement tient à ce fait qu'une faible partie seulement de l'énergie électrique est transformée en rayons lumineux, et l'autre partie en chaleur inutile ; le rapport de l'énergie utilisée en lumière à l'énergie perdue en chaleur est d'autant plus grand que la température du corps incandescent est plus élevée ; or, avec le charbon, cette température se tient entre 1200° et 1330° centigrades, valeur relativement basse.

Pour obtenir un bon rendement, il faut donc employer un filament susceptible de supporter une température très élevée sans se détériorer, et de plus utiliser la chaleur perdue à porter à l'incandescence un composé électrolytique convenablement choisi associé à ce filament.

Tel est le principe de la lampe aux nitrates.

Ses filaments peuvent supporter sans fondre une température de 2200 à 2600° C, et le

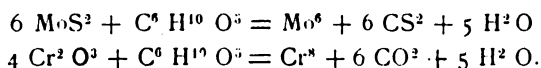
(1) *Electrotechnischer Neuigkeits-Anzeiger*, t. II, p. 77, 1er juillet 1899.

corps électrolytique associé à ces filaments consiste en nitrates des métaux rares et légers, tels que le magnésium, le zirconium, le thorium, le calcium, le cérium et analogues, qui finement divisés deviennent facilement incandescents à une température relativement peu élevée et émettent alors une très grande quantité de lumière, comme le démontre suffisamment le bec Aüer.

Un filament métallique en spirale (fig. 1), en chrome, molybdène ou manganèse est recouvert d'un tissu léger en filaments de coton, formant un cordon creux, et contenant une très faible quantité d'amiante très finement divisée.

Le tissu de coton est imprégné de nitrates des métaux rares indiqués plus haut, zirconium, etc. Après la combustion de la cellulose, il reste un squelette de ces nitrates solidement adhérent au filament métallique. On peut obtenir ce filament de chrome ou de molybdène par le procédé électrolytique. On fait une pâte d'oxyde de chrome ou de sulfure de molybdène, et de cellulose ou de charbon en poussière fine ; on l'étire en filaments auxquels on donne la forme voulue et que l'on dessèche et carbonise.

Les formules des réactions sont respectivement :



$$6\ MoS^2 + C^6H^{10}O^5 = Mo^6 + 6\ CS^2 + 5\ H^2O$$
$$4\ Cr^2O^3 + C^6H^{10}O^5 = Cr^8 + 6\ CO^2 + 5\ H^2O.$$

Pour cette dernière il faut mettre un excès de $C^6H^{10}O^5$, car l'électrolyse décompose 6 CO^2 en 6 $CO + O^6$, et il faut un excès de charbon pour reformer CO^2 avec l'oxygène restant.

L'opération doit être faite sous 110 volts, dans une enceinte où l'on a fait le vide à 15 ou 20 mm de mercure, pour éviter la formation de carbures métalliques à cette haute température de 2000° que développe l'électrolyse ; on protégera le filament en le plaçant sur un lit d'argile en fine poussière.

La lampe elle-même est formée par une ampoule où l'on a fait le vide (fig. 1). *aa* représente de l'acier ou nickel (6 p. 100 Ni, 94 p. 100 Fe), moins coûteux que le platine, *b b* des gouttes de nickel, *cc* le filament

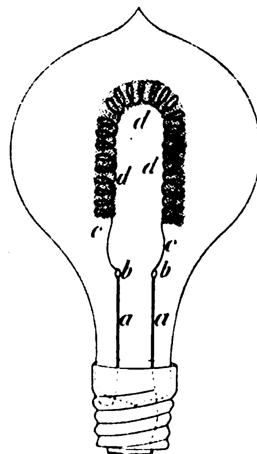


Fig. 1.

de chrome ou de molybdène, *ddd* le tissu de coton et d'amiante.

Les essais ont montré que le rendement lumineux de cette lampe est supérieur à celui de la lampe Nernst, et que de plus elle présente l'avantage sur cette dernière d'atteindre son plein éclat en deux ou trois secondes.

Le brevet est entre les mains d'une société allemande qui s'emploie activement à en terminer la mise au point. A. M.

Essais de rendement de groupes électrogènes avec alternateurs Ferranti-Maclaren.

Dans son numéro du 28 juillet, *The Electrical Review* de Londres publie, d'après les renseignements fournis par M. Joseph A. Jeckell, ingénieur électricien de la station génératrice de South Shields, les résultats d'essais fait sur deux alternateurs Ferranti-Maclaren de cette station d'une puissance individuelle de 200 kilowatts, conduits par des machines à vapeur construites en vue d'obtenir une marche économique sous des charges très variables. Ces résultats sont consignés dans les deux tableaux ci-joints.

Le groupe : moteur n° 634, alternateur n° 282, a son moteur commandé par un ré-

gulateur calculé pour donner les meilleurs rendements sous charges élevées. Le régulateur de l'autre groupe est au contraire calculé pour donner les meilleurs rendements sous faibles charges. Les essais ayant été faits tout d'abord sur le groupe moteur n° 634 alternateur n° 282, et ayant montré que même sous faible charge le rendement est très satisfaisant, on pensa qu'on avait eu tort de régler le régulateur de l'autre groupe pour avoir un rendement élevé sous faible charge, et avant de commencer les essais sur ce groupe tout semblable au premier on modifia son régulateur de manière à produire un effet inverse. Les résultats obtenus montrent que l'augmentation de rendement qui est résultée de cette modification pour une charge dépassant de 20 p. 100 la pleine charge et pour la demi-charge est compensée par diminution de rendement aux autres charges. Le réglage du régulateur semble donc ne pas avoir une influence appréciable.

Il convient d'ajouter que les deux groupes ne se trouvaient pas rigoureusement dans les mêmes conditions au moment des essais. L'un (moteur 634) marchait depuis 3 mois en service courant; l'autre n'avait été mis en marche que quinze jours avant les essais.

TABLEAU I. — *Moteur n° 634, alternateur n° 282.*

CHARGES	20 p. 100 au-dessus.	PLEINE	3/4	1/2	1/4
Date de l'essai	12/11/98	14/11/98	11/11/98	10/11/98	12/11/98
Durée de l'essai	2 h.	5 h.	6 h.	6 h.	4 h.
Chevaux indiqués	375.65	322,45	255,5	176.3	104,64
Kilowatts	228.5	193,6	152	95.16	54.25
Tours par minute	124.7	124,63	124,78	124,92	124.7
Vapeur par cheval-heure indiqué . . . . kg.	5.99	5,92	5,94	6,04	6,62
» par cheval-heure effectif . . . . » .	7,40	7,35	7.48	8,79	9,54
» par kilowatt-heure . . . . » .	9.92	9,85	10,05	11,11	12,80
Rendement du groupe . . . . p. 100.	80,9	80.5	79,7	72,3	69.48
Moyenne des consommations de vapeur à pleine charge, trois-quarts de charge et demi-charge . . . . 10,35 kg					

TABLEAU II. — *Moteur n° 636, alternateur n° 294.*

CHARGES	20 p. 100 au-dessus.	PLEINE	3/4	1/2	1/4
Date de l'essai	24/11/98	22/11/98	18/11/98	16/11/98	23/11/98
Durée de l'essai	2 h.	5 h.	5 h.	5 h.	4 h.
Chevaux indiqués	363,25	315,45	259,68	127,59	122,32
Kilowatts	220,5	188	147	99	55,25
Tours par minute	123	123,04	127,19	123,17	125,69
Vapeur par cheval-heure indiqué . . . . kg.	6,26	6,02	5,92	6,08	6,05
» par cheval-heure effectif . . . . » .	7.80	7,66	7,42	8,19	9,84
» par kilowatt-heure . . . . » .	10,32	10,10	10,57	10,72	13,40
Rendement du groupe . . . . p. 100.	81,4	79,88	75,8	76,6	60,4
Moyenne des consommations de vapeur à pleine charge, trois quarts de charge et demi-charge . . . . 10,25 kg					

J. B.

Résistivité des mélanges de graphite et d'argile ;

Par J.-A. Fleming [1].

Dans un grand nombre d'essais d'appareils à courants alternatifs de haute tension on a besoin de résistances non inductives très élevées. L'emploi de bobines de fils métalliques offre plusieurs inconvénients ; d'une part ces bobines sont encombrantes, d'autre part elles sont d'un prix très élevé, enfin leur self-induction n'est pas absolument nulle. Pour ces raison on a essayé de prendre comme résistances des corps médiocrement conducteurs obtenus en mélangeant dans diverses proportions des substances conductrices et des substances isolantes.

Dès 1891, M. J.-A. Fleming, en vue d'essais sur des transformateurs de 10 000 volts a fait de nombreuses expériences dans le but d'obtenir des résistances de ce genre ayant des valeurs suffisamment constantes. Tout d'abord il essaya des mélanges de poudres métalliques et de poudres de substances non conductrices, des mélanges de craie et de limaille de fer, ainsi que des mélanges de graphite et de craie, de magnésie ou de stéarine. Mais ces mélanges ne donnèrent pas de résultats satisfaisants au point de vue de la constance de la résistance. Ainsi tandis que leur résistance était extrêmement grande quand le courant qui les traversait était de faible tension, cette résistance devenait extrêmement petite dès que la tension du courant dépassait une certaine valeur, propriété que depuis on a reconnue être commune à tous les mélanges de ce genre et qui est utilisée dans cohéreurs ou radio-conducteurs.

A la suite de ces essais infructueux, M. Fleming essaya des mélanges de plombagine et d'argile ou de kaolin, moulés en forme de cylindres puis cuits au four ; ces cylindres étaient préparés, la plupart par M. J.-C. Waterhouse, directeur de la manufacture de creusets de plombagine de Wakefield, quelques-uns par MM. J.-J. Griffin and Sons, chimistes. Les résultats des mesures de résistance faites en 1892 sur divers cylin-

Tableau I. — *Résistances et résistivités de mélanges de graphite et d'argile.*

Proportion de graphite p. 100.	Dimensions des cylindres. Longueur. cm.	Diamètre cm.	Résistance des cylindres. ohm.	Résistivité 10^6 unités C G S
50	14	1.30	1.47	139
		1.27	1.24	112
		1.30	1.42	135
		1.29	1.37	128
		1.28	1.37	126
		1.28	1,18	108
45	14	1.21	1,7	146
		1,20	1.79	145
		1,20	1,642	133
		1,20	1.655	134
		1.20	1,768	143
		1.23	1.89	160
40	14	1,21	1.5	123
		1.24	1.352	117
		1.22	1.465	122
		1.21	1.525	125
		1.22	1.458	122
		1,25	1,548	135
		1.22	1.564	131
30	14	1,2	3.561	288
		1,2	3.645	291
		1.2	3.660	296
		1.21	3.668	301
		1.26	4.029	323
		1,2	4.395	355
15	20	1.2	850	47 600
		1,2	770	43 120
		1,2	2630	147 280
		1,2	603	33 768
		1.2	1710	95 760
		1,2	1950	109 200
		1.2	1900	106 400
10	20	1.2	494	27 654
		1.2	403	22 568
		1,2	853	47 768
		1.2	570	31 920
		1.2	573	32 088
		1,2	700	39 200
		1,2	477	26 712

[1] *The Electrician*, t. XLIII, p. 492, 28 juillet 1899.

dres fournis par M. Waterhouse sont indiqués dans le tableau I; ils montrent qu'en faisant varier les proportions de graphite et d'argile on peut obtenir des variations très grandes de la résistivité.

Il est à remarquer que la résistivité des mélanges contenant 15 et 10 p. 100 de plombagine diffère considérablement d'un échantillon à l'autre et que, contrairement à ce qu'on pourrait croire de prime abord, les mélanges à 10 p. 100 ont une résistivité plus faible que les mélanges à 15 p. 100. M. Fleming attribue ces faits à ce que le mélange des deux substances est forcément très imparfait quand la proportion d'argile domine. Au contraire les résistivités des divers échantillons des mélanges à 50, 40 et 30 p. 100 de plombagine sont comparables entre elles; les moyennes de ces résistivités sont respectivement, pour chacun des mélanges, de 125, 143, 125 et 309×10^6 unités C.G.S.

Le tableau II donne les résultats des mesures faites sur les cylindres préparés par MM. Griffin and Sons. Les résistivités des deux mélanges à 50 p. 100 de plombagine, comparables entre elles, sont de beaucoup inférieures à celles des mélanges de M. Waterhouse contenant la même proportion de plombagine; ceci montre encore l'influence du mode de fabrication et de la provenance des substances employées.

Tableau II. — *Résistances et résistivités de mélange de graphite et d'argile.*

PROPORTION de graphite p. 100.	DIMENSIONS des cylindres. Longueur cm.	Diamètre cm.	RÉSISTANCE des cylindres. ohm.	RÉSISTIVITÉ 10^6 unités C G S
50	14	1,36	0.755	78
50		1,36	0,683	75
53.5		1.33	0.590	58
53.5		1,33	0.603	59
54.8		1.33	0.603	59
54.8		1,33	0.631	62
55		1.35	0,483	49
55		1.33	0.4809	47

Enfin dans le tableau III sont résumés quelques autres résultats fournis par les mesures; la dernière ligne se rapporte à un cylindre fourni par MM. Griffin and Sons, les autres aux cylindres préparés par M. Waterhouse.

Tableau III.

GRAPHITE p. 100.	INTENSITÉ Ampères.	DIFFÉRENCE de potentiel aux extrémités. Volts.	WATTS dissipés.	WATTS par cm^2 de surface.	SURFACE Cm^2.	RÉSISTANCE à chaud. Ohms.	RÉSISTANCE à froid. Ohms.	ÉLÉVATIONS de température.	COEFFICIENT de température.
51	2.3	28	64.4	0.:39	468	12,17	12,79	50	0,08
44	1,84	33	60,72	0,14	437,8	17.93	18.95	50	0,09
40	2,14	20	42.8	0.159	269.3	9.35	10,17	57,2	0,14
31	1.4	52	72,8	0,166	437.8	37.14	39.85	59.7	0.12
50	3.5	21	73.5	0,117	627,5	6	6.45	52.7	0.11

M. Fleming a également fait à la même époque, c'est-à-dire en 1892, des mesures du même genre sur des crayons de lampes à arc. Un crayon de 6 mm de diamètre et de 50 cm de longueur avait une résistance de 1 ohm. Parcouru par un courant de 10 ampères, il s'échauffa considérablement; il supportait facilement un courant de 5 ampères. Sa résistivité était $5,6 \times 10^6$ unités C.G.S. Sa surface était de 95 cm^2. Avec un courant de 5 ampères la puissance qu'il absorbe était de 25 watts et par suite celle qu'il dissipait par

centimètre carré de surface était de 0,25 watt environ; avec un courant de 10 ampères la puissance absorbée était de 10 watts et la puissance dissipée par un cm² de surface de 1 watt environ.

Un charbon à âme de 1,42 cm de diamètre et de 14 cm de longueur avait une résistance de 0,126 ohm et par suite une résistivité de 14×10^6 unités C.G.S.

En comparant ces chiffres à ceux des tableaux I et II on voit que l'on peut obtenir avec des mélanges de plombagine et d'argile des résistivités 10 000 et 30 000 fois plus grandes que celles des crayons de lampes à arc.

En terminant, M. Fleming ajoute qu'il a obtenu au moyen de ces mélanges d'excellentes résistances n'occupant que peu de place. Pour établir entre les cylindres les connexions nécessaires on enroule aux extrémités de chacun d'eux un fil de cuivre à spires serrées, puis on soude toutes ces spires entre elles de manière à former un manchon. Pour avoir des résistances de quelques centaines d'ohms on fixe parallèlement plusieurs cylindres sur une planchette en prenant soin de les écarter suffisamment de la planchette pour qu'ils ne puissent carboniser celle-ci, puis on réunit les cylindres en quantité au moyen de barres de cuivre. Pour avoir au contraire des résistances très grandes on réunit plusieurs cylindres en série. Avec 6 à 8 cylindres ayant chacun une résistance de 1 000 à 4 000 ohms on obtient une résistance pratiquement sans self-induction pouvant être mise en dérivation sur un circuit à 2 000 volts. Des résistances de ce genre ont été constamment employées depuis 1893 au laboratoire de University College; en particulier dans les mesures potentiométriques faites avec un galvanomètre de faible résistance (300 à 400 ohms) on met en série avec ce galvanomètre une résistance en plombagine et argile de 2 000 à 3 000 ohms qui empèche la pile étalon de se polariser quand elle est fermée sur le circuit galvanométrique.

J. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Application des courants alternatifs de haute fréquence à l'étude des décharges électriques dans les gaz raréfiés ;

Par H. Ebert [1].

Un tube renfermant un gaz raréfié doit être regardé comme l'équivalent d'un condensateur dont le diélectrique est imparfaitement isolant. La théorie des courants alternatifs a résolu depuis longtemps déjà le problème du passage du courant à travers un appareil condensateur. L'énergie électrique absorbée par la charge du condensateur est restituée lors de la décharge, tandis que l'énergie calorifique développée par le courant de conduction entre en ligne de compte avec les divers termes rassemblés sons le nom de « frottement électrique » dans l'énergie enregistrée par le wattmètre. Avec une fréquence suffisante, le premier terme peut prendre des valeurs notables vis-à-vis de celles qu'acquiert ce dernier.

L'emploi de courants alternatifs proprement dit, de tension relativement basse, mais de fréquence élevée, présente un certain nombre d'avantages sur les autres modes d'excitation, telles que les décharges des condensateurs ou les oscillations de Lecher, comme les utilisent Tesla, Himstedt, J.-J. Thomson, d'Arsonval ou E. Wiedemann et Ebert. Avec tous ces dispositifs, on obtient des oscillations qui s'amortissent très rapidement, et cet amortissement, encore qu'il soit très atténué dans le système de Lecher, fait que le gaz est excité seulement à intervalles assez longs. Comme un gaz qui vient d'être

(1) *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 761-788, juillet 1898.

luminescent conserve une excitabilité plus grande que s'il est resté un certain temps en repos, il était à désirer qu'on l'excitât par des oscillations équidistantes, rigoureusement symétriques, comme celles d'un courant de haute fréquence.

On a constaté déjà que les courants harmoniques de haute fréquence usent beaucoup moins les électrodes que les décharges des condensateurs.

Les courants de Tesla ont l'inconvénient d'être trop intenses : l'énergie nécessaire pour entretenir la luminescence d'un gaz est extrêmement petite au contraire ; il doit donc être possible de provoquer cette luminescence avec des courants consommant beaucoup moins d'énergie que ne le font les courants de Tesla. On y gagnerait encore de diminuer l'échauffement des électrodes et des parois, ainsi que le dégagement des gaz occlus.

C'est en vue de ce résultat que le professeur Ebert a fait construire, en collaboration avec l'ingénieur Hummel, l'alternateur qui va être décrit.

Alternateur. — Des expériences préliminaires ont montré qu'il suffisait d'élever le nombre des alternances à 1 000 par seconde pour que la décharge prît le caractère symétrique et les autres apparences observées par E. Wiedemann et Ebert en employant les oscillations hertziennes. Cette fréquence, relativement restreinte, permet d'autre part d'étudier facilement la décharge dans un miroir tournant, ce qui n'est guère réalisable quand on emploie les décharges d'un condensateur. Si le miroir tournant est fixé sur l'arbre même de la machine, on a le moyen d'observer séparément chaque phase du phénomène lumineux, puisque ces phases sont liées à une position déterminée de l'armature de la machine. Pour observer, au contraire, l'effet de plusieurs oscillations successives, on met le miroir en mouvement au moyen d'un moteur spécial.

L'alternateur est du type des transformateurs de courants continus en courants alternatifs. Il est alimenté par un courant continu de 1,2 à 1,9 ampère avec 55 à 64 volts de différence de potentiel aux bornes.

Le champ magnétique est tétrapolaire, constitué par quatre noyaux feuilletés, de forme trapue, qui sont réunis à leur base par une couronne P P également feuilletée (fig. 1) :

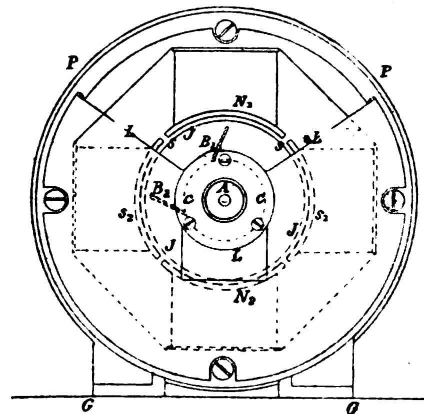


Fig. 1.

les enroulements sont deux à deux en dérivation et les deux groupes en série. A l'intérieur de ce champ tourne un induit J J J à tambour, avec enroulement en série. Sur les extrémités intérieures des noyaux sont fixées des feuilles de tôle *s s*, convenablement découpées : leurs dimensions sont calculées de manière que la largeur des pôles soit avec la distance des centres des noyaux dans un rapport tel que le courant se rapproche le plus possible de la forme sinusoïdale.

Ces inducteurs peuvent être alimentés soit en série avec l'induit à courant continu, soit séparément.

En C se trouve le collecteur auquel aboutissent les extrémités des sections de l'enroulement qui reçoit le courant continu moteur : le courant alternatif est pris à deux frotteurs placés sur la face postérieure de la machine. L'arbre est supporté par une chaise L L qui a la forme d'une coque hémisphérique, vissée directement à la couronne P P et ouverte seulement vers le haut : une chaise semblable se trouve en arrière et l'ensemble enveloppe et protège les organes internes de la machine.

Eu égard à l'extrême rapidité de la rotation, il est indispensable de veiller avec le plus grand soin à ce que les parties mobiles soient rigoureusement équilibrées, l'enroulement à tambour solidement fretté et les paliers lubrifiés par un bon graisseur automatique.

A vide, les vitesses sont les suivantes :

Force électromotrice du courant continu moteur	Tours par minute
28 volts.	5000
43 —	10000
60 —	16000
75 —	20000

La vitesse à la périphérie de l'induit atteignait, sous la charge habituelle, 31 m par seconde, tandis que dans les dynamos usuelles elle ne dépasse guère 15 à 20.

Sur la partie antérieure de l'axe est fixé un petit miroir d'acier, dont la masse est répartie symétriquement afin de ne pas provoquer de ballottement.

La force électromotrice efficace du courant alternatif obtenu est de 32 à 35 volts pour une intensité efficace de 0,6 à 1,5 ampère, suivant la charge. Pour traverser le gaz, il faut que cette force électromotrice soit rendue 30 ou 40 fois plus grande : l'intensité sera toujours suffisante.

Transformateur. — Le transformateur est à circuit de fer doux ouvert : l'enroulement primaire a une résistance de 2,23 ohms et une self-induction de 0,040 henry ; l'enroulement secondaire, 9990 ohms et 212 henrys ; le rapport de transformation est d'environ 1 : 50.

Un autre exemplaire, de dimensions différentes et qui a été employé dans quelques expériences, a donné de meilleurs résultats encore : les résistances des deux enroulements étaient respectivement 1,142 et 13550 ohms.

Avec d'autres dimensions des noyaux et d'autres enroulements, la plus grande partie de l'énergie primaire eut été absorbée par le travail d'hystérésis ou la chaleur de Joule : les proportions se trouvaient si bien établies qu'on recueillait dans le secondaire environ 80 p. 100 de l'énergie primaire, bien que le circuit magnétique du transformateur fût ouvert.

Ampèremètre. — La mesure du courant secondaire présentait d'assez grandes difficultés, en raison de sa haute fréquence et de sa force électromotrice élevée ; de plus son énergie totale était trop faible pour qu'il fût permis d'en perdre par la mesure elle-même.

La construction de l'ampèremètre repose sur les mêmes principes que celle de l'ampèremètre thermique de Hertz.

Une boîte d'ébonite fermée par une glace porte quatre tubulures d'ébonite a_1, a_2, a_3, a_4 (fig. 2), dans lesquelles sont mastiqués deux tubes de verre, deux longs r_1, r_2 et deux courts r_3 et r_4.

Sur les extrémités libres de ces tubes de verre se trouvent des garnitures de cuivre qui portent des prolongements tubulaires, fendus longitudinalement et filetés à l'extérieur ; des écrous plats, vissés sur ces filets, permettent de déplacer les tiges de cuivre s_1 et s_2 qui portent des bornes de serrage ou les tiges t_1 et t_2 qui portent des boules. Aux tiges t_1 et t_2 sont soudés les fils courts d_1 et d_2, fixés d'autre part à l'axe de la tige T qui supporte un miroir. A cette même tige T sont soudés deux fils de constantan c_1, c_2 de 0,03 mm de diamètre et de 19 cm de longueur, qui s'enroulent autour d'elle et sont soudés d'autre part à s_1 et s_2.

En tournant les tiges t_1 et t_2, on peut communiquer une certaine tension aux fils c_1 et c_2 et ensuite en agissant sur s_1 et s_2 donner une position déterminée au miroir. Si on envoie le courant de haute fréquence dans les fils s_1, s_2, ceux-ci s'échauffent, se dilatent : la torsion des fils d'acier d_1 et d_2 entraîne la tige T et fait tourner le miroir d'un certain angle. Sur une échelle placée à 2,44 m, un déplacement d'une division correspondait à 1,73 milliampère.

L'instrument est apériodique et les oscillations du courant se succèdent si rapidement que le miroir reste dans une position fixe, abstraction faite des trépidations mécaniques.

Voltmètre. — Le voltmètre est de construction analogue à celle du voltmètre de Bjerknes : grâce aux modifications apportées par

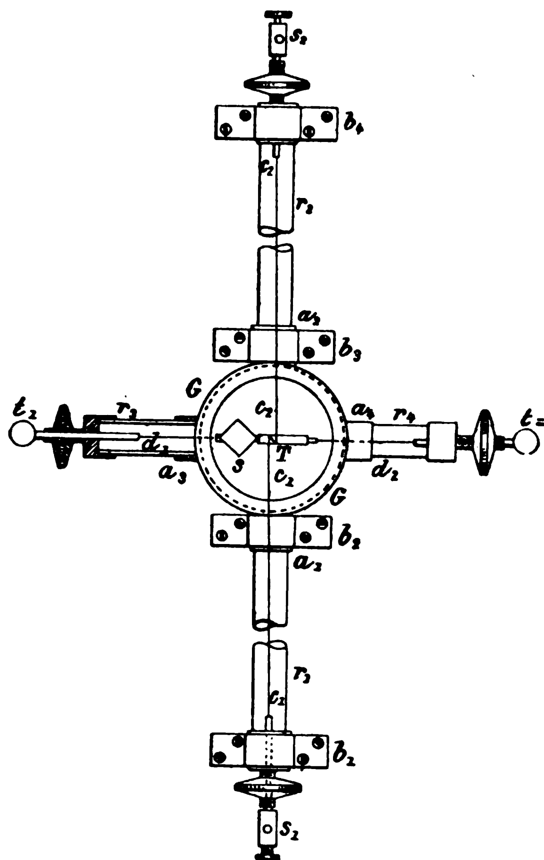


Fig. 2.

M. Ebert et M. Hoffmann, l'instrument a fonctionné pendant un an très bien; il a l'avantage de rester en circuit complètement ouvert et d'avoir une capacité si faible qu'elle est négligeable devant celle du tube évacué.

EXPÉRIENCES. — 1° *Aspect de la décharge.* — Dans tous les cas, quelle que soit la forme du tube employé, la décharge est symétrique en ce sens que les phénomènes cathodiques apparaissent aux deux électrodes : la lumière est extrêmement intense.

Dans les tubes cylindriques dont la section est uniforme, les stratifications se montrent seulement quand la pression du gaz est descendue au-dessous d'une certaine limite : si le tube présente des sections inégales, les stratifications s'observent à toutes les pressions. La loi simple que Goldstein avait admise, pour relier la distance des strates à la pression, ne se vérifie pas.

Par l'observation dans le miroir tournant, on constate que :

1° Chaque décharge forme un tout : il n'y a pas de décharge partielle dans les tubes qui ont été observés;

2° Les décharges individuelles sont séparées par des intervalles complètement noirs, mais extrêmement étroits : par conséquent les décharges sont discontinues et entre les décharges le gaz reste obscur. C'est seulement aux basses pressions, quand la première région cathodique est nettement développée, que les électrodes paraissent recouvertes de lumière d'une manière continue. La lumière anodique passe dans la lumière de la première région cathodique, ce qui confirme l'opinion émise par certains auteurs que cette région représente un reste de la lumière anodique, ou est de même nature : l'analyse spectrale conduit à la même conclusion.

Quand les oscillations sont assez rapides. les phénomènes anodiques restent invisibles, parce que leur position coïncide avec celle de la première région cathodique et sont masqués par celle-ci, quand les deux oscillations de sens contraire se succèdent. Il est à remarquer aussi que cette lumière anodique, après que l'électrode est redevenue positive, reste très limitée et ne s'étend pas dans l'espace occupé auparavant par la région cathodique obscure; cette circonstance semble indiquer que l'influence des phénomènes cathodiques subsiste alors que leurs effets visibles ont disparu.

2. *Consommation d'énergie, puissance et rendement du transformateur de courants continus.* — Le rendement du transformateur de courants continus augmente quand on diminue la charge ou quand on augmente le voltage du courant d'alimentation.

Pour une consommation de 50 à 60 watts

environ, avec une force électromotrice de 50 volts dans le circuit du courant continu, le rendement varie de 0,009 à 0,23 quand on abaisse la résistance du circuit du courant alternatif de 2 385 à 70 ohms. Si la force électromotrice est de 60 volts, le rendement varie dans les mêmes conditions de 0,01 à 0,28 et la consommation de 72 à 79,2 watts.

Avec un courant continu à 64 volts, alimentant aussi les inducteurs et l'induit, la machine absorbe 90 watts qui représentent le travail nécessaire pour établir le champ magnétique, vaincre les frottements et la force contre électromotrice de l'induit.

Quand la machine est reliée au transformateur de haute tension, on a :

Dans le circuit du courant continu :

64 volts 1,5 ampère, soit 96 watts.

Dans le circuit du courant alternatif à basse tension :

36,5 volts 0,265 amp. ou 1,25 watt.

De la quantité d'énergie indiquée par le wattmètre, il faut pour avoir l'énergie réellement disponible retrancher cet 1,25 watt, qui représente l'énergie absorbée par la chaleur de Joule et le travail d'hystérésis; à vrai dire, cette correction varie un peu avec la charge et on peut la prendre égale en moyenne à 1 watt.

D'après les chiffres indiqués, la différence de phase entre l'intensité du courant et la force électromotrice est de 82°34'4.

Quant le circuit à haute tension est relié au tube évacué et au voltmètre, le voltage dans le circuit de basse tension s'abaisse à 36 volts, l'ampérage à 0,23; la consommation monte à 1,70 watt.

Lorsque le tube raréfié est inséré dans le circuit à haute tension, la force électromotrice dans ce dernier est plus élevée qu'on ne l'attendait d'après le rapport de transformation, Il s'introduit donc une nouvelle différence de phase et le signe de cette différence de phase, qui correspond à une avance, prouve que le tube raréfié se comporte comme un condensateur.

La quantité d'énergie qu'absorbe le gaz pour devenir luminescent dépend essentiellement de sa pression. Aussi bien aux pressions élevées qu'aux pressions réduites, la différence de potentiel entre les électrodes est toujours très grande et l'intensité faible; par une certaine pression moyenne, la première passe par un maximum, la seconde par un minimum. Le produit du voltage par l'ampérage diminue d'abord en même temps que la pression, passe par un minimum, croît ensuite jusqu'à un maximum; aux pressions très basses l'énergie dépensée décroît de nouveau jusqu'à 0, alors que la décharge ne passe plus.

La puissance du générateur peut encore être caractérisée par les données suivantes. A vide, c'est-à-dire quand le circuit secondaire du transformateur était ouvert, la différence du potentiel aux bornes était de 1 592 volts. En fermant le circuit sur un condensateur de 2,80 microfarads, on obtint un courant de charge de 26,3 milliampères avec une différence de potentiel de 66 volts efficaces; en même temps la vitesse de la machine diminuait de moitié. Dans le secondaire en court-circuit, l'intensité était de 25,7 milliampères et la différence de potentiel trop petite pour être mesurée. Enfin, dans le secondaire fermé sur une résistance de graphite, la différence de potentiel aux bornes était la même qu'en circuit ouvert.

Comme il a été dit ci-dessus, la présence du tube raréfié dans le circuit secondaire du transformateur modifie la phase du courant ; il y a avance de phase du courant sur la force électromotrice, c'est-à-dire que le tube agit comme un condensateur. Cette différence de phase croît quand la pression du gaz diminue (au moins dans l'intervalle étudié); dans les tubes d'égale section, elle est d'autant plus grande que le tube est plus court; dans un tube très long, elle est extrêmement petite.

M. L.

Énergie dépensée dans les tubes à décharges excités par un courant alternatif;

Par H. Ebert (1).

La source d'électricité employée dans ces mesures est le transformateur de courant continu en courants alternatifs décrit par l'auteur dans le mémoire précédent. Le nombre des périodes est en moyenne de 22 000 par seconde et la force électromotrice est élevée à 3 000 volts (en secondaire ouvert) par un transformateur hérisson. Ces courants alternatifs à alternances rapides présentent plusieurs avantages : E. Wiedemann a prouvé, en effet, que les phénomènes calorifiques dans le tube à décharges, surtout à l'anode sont fort altérés par les charges que prennent les parois; ces charges ont le même signe que l'électrode (Paalzow et Neesen) (2). Si on emploie le courant alternatif, l'électrode change rapidement de signe et la charge prise par la paroi pendant l'une des phases du courant est neutralisée par la charge acquise pendant la phase suivante.

De plus, on peut mettre en jeu des quantités d'énergie très considérables, ce qui diminue l'importance relative des causes d'erreur.

La forme du courant déterminée à l'aide d'un tube de Braun était sensiblement sinusoïdale.

Dans le circuit de basse tension se trouvent un voltmètre de Cardew, un ampèremètre pour courants alternatifs de Hartmann et Braun avec réducteur, et un wattmètre de Weston. La bobine d'intensité du wattmètre est placée à l'une des extrémités du primaire du transformateur, l'ampèremètre à l'autre extrémité; la bobine de tension est reliée directement aux extrémités du transformateur.

Dans le circuit de haute tension sont insérés : un voltmètre à cellules de Hoffmann et Ebert et l'ampèremètre thermique décrit précédemment.

Au tube à décharges est jointe une jauge de Mac-Leod, modèle de Kahlbaum.

Autant que possible les diverses grandeurs à mesurer sont observées au même instant, ce qui exige le concours de plusieurs observateurs (jusqu'à cinq). On évalue l'énergie consommée par le tube d'après les indications du wattmètre qui font connaître la consommation d'énergie dans le primaire du transformateur. Il faut déduire de la quantité indiquée par le wattmètre, l'énergie dépensée sous forme de chaleur de Joule dans le circuit primaire du transformateur et l'énergie dissipée par hystérésis; la première est égale à rI^2, r étant la résistance du circuit primaire, I l'intensité efficace du courant fourni par le transformateur de courants continus; la seconde peut être estimée à 1 watt.

Si on ferme le circuit sur les instruments de mesure et sur le tube à décharges, sans que ce dernier s'illumine, on constate une dépense de 2,5 watts; cette dépense est occasionnée par la capacité du circuit, des appareils de mesure et du tube lui-même, capacité qui n'est pas nulle. Enfin, quand le tube a commencé à s'illuminer, l'intensité du courant dans le circuit secondaire n'est plus nulle; une partie de l'énergie est absorbée dans le circuit sous forme de chaleur de Joule; déduction faite de ces diverses corrections, il reste l'énergie consommée dans le tube.

1. *Tube cylindrique large sans partie capillaire.* — Longueur : 22 cm; diamètre : 2,5 cm; les électrodes sont des disques minces d'aluminium, ayant 2 cm et distants de 16,8 cm. Les décharges suivent le rhythme du courant. L'énergie consommée dans le tube suit les variations du produit Vi de la différence de potentiel entre les électrodes par l'intensité du courant.

Comme ce produit, elle diminue d'abord, quand la pression diminue, jusqu'à un minimum; à ce moment l'intensité efficace i présente un maximum, assez peu accusé du

(1) *Wied. Ann.*, t. LXVII, 608-629, mars 1899.
(2) *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 468.

reste, tandis que la différence de potentiel efficace présente un minimum. La différence de phase φ' entre la force électromotrice et l'intensité, dans le circuit secondaire, qui résulte de la présence du tube, est notable (jusqu'à 40°); mais elle n'influe pas d'une manière essentielle sur les conditions du minimum.

Ensuite, la consommation croît de nouveau comme le produit Vi. Le dégagement de chaleur éprouve des variations parallèles, comme le prouvent les mesures calorifiques; il passe aussi par un minimum pour la même pression que la quantité totale d'énergie. L'allure des variations de la consommation d'énergie dans le tube est donc la même que celle du produit Vi. Par suite, la somme d'énergie Q transformée en chaleur dans le tube ne suit pas les variations de l'intensité du courant i; quand i est maxima, Q est au contraire minima.

Dans le produit Vi l'influence de la force électromotrice du courant alternatif est prépondérante. Si on fait passer dans le tube différentes quantités d'électricité en lui faisant subir la même chute de potentiel V, comme cela arrive quand on alimente le tube au moyen d'une machine à influence, la quantité d'énergie et par suite celle de chaleur, doivent être proportionnelles à i : c'est en effet ce que l'expérience vérifie. Il n'y a donc pas lieu d'attribuer aux gaz une résistance électrique dans le sens où la définit la loi d'Ohm; la résistance ainsi définie ne serait pas une constante, mais croîtrait avec l'intensité du courant.

2. *Tube avec une portion capillaire recourbée* (fig. 1). — Diamètre des parties larges : 1,6 cm; électrodes en fil d'aluminium, diamètre de la partie capillaire : 0,2 cm; longueur 24 cm; ce tube capillaire est recourbé en boucle comme le filament d'une lampe à incandescence. Comme le courant sinusoïdal n'éprouve aucune variation brusque, il n'y a pas à craindre de perturbation provenant de la self-induction. La décharge suit encore le rhythme du courant, mais cette fois il se produit des décharges partielles dans le tube capillaire, par suite de la résistance qu'il offre au passage de l'électricité; à toutes les pressions, la décharge est nettement stratifiée dans le tube capillaire.

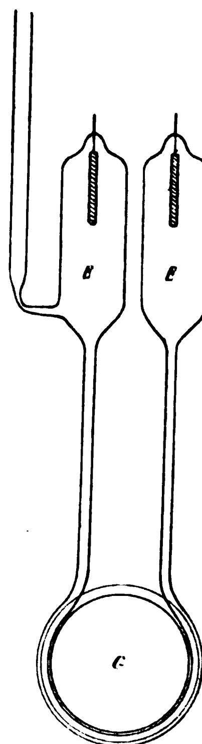


Fig. 1.

La loi suivant laquelle varie la consommation d'énergie avec V et i ne dépend pas de la forme des récipients ou de celle des électrodes; c'est ce que démontrent encore les expériences faites sur un tube de près de 2 m de long, dans lequel les électrodes étaient formées par deux fils d'aluminium tendus parallèlement à l'axe du tube et aussi sur un vase cylindrique large muni de deux électrodes qui forment une sorte de condensateur.

Si on introduit dans le même récipient successivement différents gaz, l'allure générale du phénomène reste la même; la pression à laquelle se produit le minimum de dépense est différente d'un gaz à l'autre; elle

est beaucoup plus faible, par exemple, pour le gaz carbonique que pour l'hydrogène.

D'une manière générale, aux pressions très basses, quand les rayons cathodiques se produisent en abondance et que le tube commence à prendre la fluorescence verte, dans toute son étendue, le tube ne consomme plus qu'une très petite quantité d'énergie électrique.

Relation entre la consommation d'énergie et les propriétés moléculaires des gaz. — L'ensemble des expériences peut se résumer ainsi : dans un même tube, le phénomène d'inversion (minimum de consommation) se produit à des pressions très différentes d'un gaz à l'autre ; à des pressions relativement élevées, dans les gaz où la lueur positive se développe rapidement quand la pression diminue, comme l'hydrogène ; à des pressions plus basses, quand ce développement est plus lent, comme dans le gaz carbonique.

Pour la même force électromotrice, la luminescence commence aussi à se produire dans l'hydrogène et le gaz de l'éclairage à des pressions élevées, dans l'azote, l'air et l'oxyde de carbone à des pressions moyennes, dans le gaz carbonique à des pressions basses.

Nous avons donc là deux propriétés des décharges, qui dépendent, non pas seulement des dimensions et de la forme des récipients, mais aussi de la nature du gaz. On peut donner de ces propriétés une expression quantitative simple en les rattachant au chemin moyen des molécules gazeuses λ.

En appelant H la pression d'inversion, on trouve que :

$$H = \lambda \times \text{const.}$$

La constante dépend de la forme et des dimensions du tube.

Le phénomène d'inversion est en relation étroite avec la propagation de la lueur négative [1] ; et par suite, avec les propriétés moléculaires du gaz, notamment avec la valence des molécules qui détermine en première ligne les propriétés électriques de ces molécules.

D'après la théorie cinétique des gaz, le chemin moyen des molécules λ est lié à la distance moyenne a et au rayon ρ de la sphère d'activité par l'équation :

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{a^3}{\pi\rho^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{4}{3} \rho . \frac{a^3}{\frac{4}{3}\pi\rho^3}.$$

Or la dernière fraction représente le rapport $\frac{V}{v}$ du volume total V occupé par le gaz au volume *réel* v des molécules ; par conséquent :

$$\lambda = \varepsilon . \rho . \frac{V}{v}$$

ε étant un facteur numérique ; le rapport $\frac{V}{v}$ est inversement proportionnel à la densité d. D'autre part, la formule de Lorentz-Lorenz donne entre la densité d d'un gaz et son indice de réfraction n la relation :

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{d} = \text{const.}$$

d'où :

$$\lambda = \varepsilon' . \rho . \frac{n^2 + 2}{n^2 - 1}$$

et

$$H = \varepsilon'' . \rho . \frac{n^2 + 2}{n^2 - 1}.$$

D'après les expériences de Boltzmann et Klemencic, la loi de Maxwell est vérifiée au moins pour les gaz ; on peut donc substituer à n^2 le pouvoir inducteur spécifique K. Le pouvoir inducteur des gaz diffère peu de l'unité ; ce qui permet de remplacer $K + 2$ par 3. Quant à la différence $K - 1$, R. Lang a montré qu'elle est proportionnelle au nombre total de valences que renferme la molécule ; si s est ce nombre, on a sensiblement :

$$K - 1 = s . 123 . 10^{-6}.$$

En introduisant cette valeur dans la formule et faisant rentrer toutes les constantes dans une seule h, on aura :

$$H = h \frac{\rho}{s}. \quad (1)$$

[1] EBERT, *Sitz. ber. der bayr. Akad.*, **28**, p. 497.

Pour des gaz dont la molécule possède le même nombre de valences, l'inversion de la force électromotrice et par suite celle de la consommation d'énergie, se produit à une pression d'autant plus élevée que le rayon de la sphère d'activité des molécules luminescentes est plus grand ; pour une même valeur de ce rayon, la pression d'inversion est d'autant plus élevée que la molécule renferme moins de valences ; c'est-à-dire qu'il y a moins de charges électriques d'ions mises en liberté lors d'une dissociation complète.

La formule (1) est vérifiée par l'expérience, autant que permet de le faire l'incertitude des données numériques, notamment de la valeur des rayons d'activité.

Toutes choses égales d'ailleurs, la différence de potentiel minima Π sous laquelle la décharge peut traverser un gaz à une pression déterminée, varie en raison inverse du chemin moyen des molécules. Par un calcul pareil à celui qui a été fait ci-dessous, on trouve

$$\Pi = C \frac{s}{\rho} \qquad (2)$$

C étant une constante.

Un gaz offre donc à la décharge une résistance d'autant plus grande que le nombre de valences contenues dans une molécule est plus grand et que le rayon de la sphère d'activité est plus petit.

Lueur négative. — D'après Hertz, des particules électrisées négativement lancées par la cathode forment les rayons cathodiques ; leur force vive est rapidement absorbée dans le gaz qu'elles traversent ; celui-ci est dissocié et devient luminescent ; c'est cette luminescence qui produit la lueur négative ; ce serait une phosphorescence du gaz provoquée par les rayons cathodiques, que le gaz absorbe plus ou moins suivant la pression. Effectivement en comparant la répartition dans le tube des chutes de potentiel et des températures, on voit que l'énergie électrique ne se consomme pas, là où elle est produite. De plus, on sait, par l'analyse spectrale que les molécules gazeuses luminescentes ne sont pas celles qui sont en mouvement, mais celles qui sont heurtées par les molécules en mouvement.

Pour une même pression, c'est-à-dire pour le même nombre de molécules dans l'unité de volume, la lueur négative doit se propager d'autant plus rapidement que les rayons cathodiques sont plus absorbés. La théorie cinétique suppose, et ce sont là des hypothèses fort vraisemblables, que les molécules les plus compliquées sont celles qui se dissocient le plus facilement et celles qui ont les plus grandes valeurs pour le rayon d'activité. Par conséquent, H doit augmenter quand ρ augmente.

Les phénomènes de luminescence touchent de près aux phénomènes de dissociation, ainsi que le prouve l'étude des vapeurs métalliques en luminescence dans les flammes ; il y a dissociation partielle ou complète et la somme d'énergie lumineuse peut être calculée comme le travail nécessaire à la mise en liberté des charges électriques des ions. Il faut remarquer à l'appui de cette interprétation que la valeur du rapport $\frac{\varepsilon}{m}$ de la charge d'une valence à la masse mise en mouvement est du même ordre de grandeur, qu'on la calcule soit d'après les expériences de Zeeman soit d'après la déviation des rayons cathodiques.

Pour dissocier un plus grand nombre de valences liées entre elles, il faut donc dépenser une plus grande somme de l'énergie cinétique des rayons cathodiques ; par conséquent la dissociation d'une couche de gaz d'épaisseur donnée et la propagation de la lueur négative se feront d'autant plus lentement que la somme s des valences d'une molécule est plus grande et la pression H d'autant plus basse que s est plus grand.

La relation (2) est susceptible d'une interprétation analogue. Tout d'abord, puisque les molécules compliquées se dissocient plus facilement, on s'explique immédiatement que π varie en raison inverse de ρ.

Mais π dépend aussi de s. Pour en rendre compte, reportons-nous à la théorie de la décharge donnée par J.-J. Thomson, en s'appuyant sur la notion des lignes de force de Faraday. Les tubes de force émis par le conducteur chargé s'étendent jusqu'aux molécules gazeuses et s'attachent sur les valences; quand la tension des tubes de force a atteint une grandeur suffisante, la molécule est disloquée. Dans cette manière de voir, la proportionnalité entre π et s s'explique immédiatement. Si on charge les électrodes qui limitent le gaz à un potentiel de plus en plus élevé, la tension exercée sur une molécule déterminée devient de plus en plus grande. Le gaz résistera à un champ d'autant plus intense que le nombre de valences entre lesquelles se répartira la tension exercée sur chaque molécule sera plus grande. Sous la même pression, c'est-à-dire pour le même nombre de molécules par unité de volume, les molécules seront d'autant plus solides que leur nombre de valences s sera plus grand; d'où la proportionnalité de π à s, en supposant que ρ soit le même.

M. L.

CHRONIQUE

Simplification possible et rationnelle des unités électriques. — Sous le titre « Doit-on donner des noms aux unités C. G. S. électriques et magnétiques? » nous signalions dans notre numéro du 8 juillet (p. 30) une proposition américaine tendant à donner des noms à ces unités et à désigner par des préfixes les puissances de 10, positives et négatives, par lesquelles il est nécessaire de multiplier ces unités pour avoir des unités de l'ordre de grandeur des quantités à mesurer.

La même question vient d'être soulevée par M. Blondel dans une note parue dans l'*Industrie Électrique* du 25 juillet, note écrite depuis plusieurs mois et destinée au prochain Congrès de l'Association française, mais que son auteur a cru opportun de publier immédiatement.

M. Blondel après avoir fait remarquer combien les rapports entre les unités C. G. S. et les unités pratiques sont peu simples, puisqu'ils exigent l'emploi de 14 puissances de 10 comprises entre 10^{-15} (1 microfarad = 10^{-15} unités C. G. S.) et 10^{15} (1 megohm = 10^{15} unités C. G. S.), attire l'attention sur cette contradiction dans l'usage des deux systèmes : « en électricité on n'emploie guère que le système pratique, sous prétexte que les unités C. G. S. manquent de noms concrets et que leurs valeurs sont trop grandes ou trop petites pour la pratique; au contraire, en magnétisme, où des noms concrets font également défaut et où l'unité de flux est certainement trop petite, on n'a créé jusqu'ici aucune unité dans le second système. »

M. Blondel rappelle ensuite que des tentatives ont été faites pour unifier les unités électriques et magnétiques et faire disparaître cette contradiction. Les uns, à la suite de l'American Institute of Electrical Engineers, ont proposé de confondre les unités magnétiques pratiques avec les unités C. G. S. et de leur donner des noms. D'autres, ont voulu faire adopter des unités magnétiques nouvelles cohérentes avec les unités électriques pratiques. Mais cette dernière solution, bien que préconisée par l'auteur au Congrès des Électriciens de Genève (voir *L'Éclairage Électrique* du 20 juin 1896, t. VII, p. 529) ne lui paraît plus maintenant acceptable parce qu'elle exigerait la création de nouveaux noms et de nouvelles définitions et qu'elle pourrait donner lieu à des confusions avec le système américain.

La meilleure solution serait donc, selon lui, de suivre les Américains dans la voie qu'ils ont ouverte en donnant des noms aux unités magnétiques C. G. S., c'est-à-dire de donner aussi des noms aux unités électriques C. G. S. Quant aux règles à suivre pour la création de ces noms, voici les idées qu'expose M. Blondel à ce sujet :

« Il ne se présente qu'une difficulté, c'est le choix des noms à donner à ces unités C. G. S. électriques. D'une part on est tellement habitué aux volts et aux ampères, qu'il serait bien difficile d'adopter de nouveaux vocables, et d'ailleurs il serait déplorable que les noms des créateurs mêmes de l'électricité fussent remplacés par les noms de savants moins célèbres ou moins directement associés aux pre-

miers pas de cette science. D'autre part, on ne peut conserver cependant les mêmes noms sans changement sous peine de donner lieu à de continuelles confusions entre les deux systèmes, celui qu'on abandonnerait et le nouveau. Mais on pourrait heureusement tout concilier en ajoutant pendant quelques années à partir de 1900 le préfixe « Néo » devant les noms des unités C. G S. Par exemple les unités C. G. S. de tension de courant et de résistance seraient le néampère, le néovolt, le néohm, etc. Au bout de cinq ou six ans après la décision du congrès qui aurait adopté ce changement, les nouvelles habitudes seraient prises très facilement, grâce surtout à l'influence des jeunes générations d'électriciens sortant chaque année en nombre croissant des Ecoles, où on leur aurait appris les nouvelles habitudes, et on pourrait laisser tomber les préfixes « néo » d'un commun accord. Cela serait d'autant plus facile que le nouveau régime partirait du commencement du xxe siècle, et qu'on serait averti par la date même des publications du système dans lequel elles ont été écrites.

Quant aux multiples des unités C. G. S. ainsi dénommées, leurs noms étant nouveaux dans le langage électrique comme on peut le voir par le tableau ci-dessous, ne pourraient donner lieu à aucune confusion avec les anciens, ce qui dispenserait de l'addition du préfixe « néo » dans ces multiples (sauf le milliampère). Pour plus de commodité d'ailleurs, on changerait la signification des préfixes « méga » et « micro » en leur donnant pour valeurs 10^{15} et 10^{-15} au lieu de 10^{6} et 10^{-6} comme aujourd'hui. Le megohm et le microfarad conservaient ainsi les mêmes valeurs qu'actuellement, sans aucun changement.

» Les puissances 10^{9} et 10^{-9} seraient désignées par les préfixes « hyper » et « hypo » respectivement. L'ohm actuel et le décavolt deviendraient « l'hyperohm » et « l'hypervolt »; l'hectowatt deviendrait « l'hyperwatt » et se désignerait par la même abréviation H.-W. Le microhm deviendrait le kilohm. On voit que toutes les unités principales resteraient des plus simples et qu'en cinq minutes tout électricien apprendrait à se servir du nouveau système. »

MULTIPLES des unités C. G. S.	10^{-15}	10^{-9}	10^{-3}	UNITÉ C. G. S.	10^{-3}	10^{-9}	10^{-15}
Longueur . . .	»	»	»	Centimètre.	»	»	»
Masse.	»	»	»	Gramme.	»	»	»
Temps.	»	»	»	Seconde.	»	»	»
Intensité. . . .	»	Hypo-ampère.	Milli-néampère.	Né-ampère.	»	»	»
Tension	»	»	»	Néo-volt.	Kilovolt.	Hypervolt.	»
Résistance . . .	»	»	»	Né-ohm.	Kilohm.	Hyperohm.	Megohm.
Quantité. . . .	»	Hypo-coulomb.	»	Néo-coulomb.	»	»	»
Puissance . . .	»	»	»	Néo-watt.	»	Hyperwatt.	»
Énergie	»	»	»	Erg.	»	Hypererg.	»
Inductance. . .	»	»	»	Néo-henry.	Kilo-henry.	Hyperwatt.	»
Capacité. . . .	Microfarad.	»	»	Néo-farad.	»	»	»

» Il serait facile par exemple de s'habituer à dire 11,0 hypervolts au lieu de 110 volts, 10,0 néampères au lieu de 100 ampères, 1 hyperwatt au lieu de 1 hectowatt, etc. Les médecins qui évaluent ordinairement les courants entre 1 et 200 milliampères, les compteraient entre 0,1 et 20 millinéampères, etc. »

En résumé, M. Blondel propose de donner aux unités C. G. S. les noms sous lesquels sont actuellement désignés les unités pratiques, en les faisant précéder provisoirement du préfixe « néo » ; il n'emploie que six préfixes servant à désigner les puissances ± 3, ± 9 et ± 15 de 10 ; il n'a pas besoin de créer de nouveau mot pour ces préfixes, mais change la signification des préfixes « micro » et « méga » qui correspondraient à 10^{-15} et 10^{15} et représente les puissances 10^{-9} et 10^{9} par les préfixes « hypo » et « hyper ». On voit donc que si M. Blondel est d'accord en principe avec les électriciens américains sur l'utilité de donner des noms aux unités électriques C. G. S., le système qu'il propose diffère considérablement du système proposé par ceux-ci, qui, en effet, demandent que chaque unité reçoive un nom nouveau et que chaque puissance de 10 soit désignée par un préfixe

Si, comme le recommande M. Blondel, « on se place par la pensée non point au point de vue de

celui qui connait de longue date l'électricité, mais au point de vue de celui *qui a à l'apprendre* », il est certain que le système de M. Blondel est des plus séduisants. Les six unités multiples ou sous-multiples de l'unité principale que permettent de nommer les six préfixes adoptés, sont très suffisantes pour évaluer avec un petit nombre de chiffres toutes les grandeurs électriques envisagées en pratique. Les intensités de courants seront exprimées en néampères ou en milli-néampères par un nombre 10 fois plus petit que celui qui sert aujourd'hui à les évaluer en ampères et milli-ampères. De même les tensions seront exprimées en hypervolts par un nombre 10 fois plus petit que celui qui les exprime en volts actuels. Les résistances seront exprimées en hyperohms ou en mégohms par les nombres mêmes qui les expriment aujourd'hui en ohms ou en mégohms. L'hyperhenry remplacera le henry actuel dans les mesures d'inductance, l'hyperwatt et l'hypererg remplaceront l'hectowatt et l'hectojoule. Enfin, le microfarad continuera à désigner la même capacité.

Envisagé à ce point de vue, le système de M. Blondel est donc fort acceptable. Les deux seuls reproches qu'on pourrait lui faire sont : qu'il modifie les significations admises pour les préfixes micro et méga, lesquels sont employés avec d'autres unités que les unités électriques, comme dans mégadyne, mégerg, etc., et, en second lieu, qu'il ne tient pas compte des besoins qui peuvent se présenter à brève échéance en ne créant pas immédiatement des préfixes pour les puissances 10^6 et 10^{12}. Mais il est évident que ces objections sont de mince importance et qu'elles seraient faciles à lever.

Malheureusement il ne nous semble pas que l'on puisse ainsi faire table rase du passé et qu'on puisse négliger aussi facilement les nombreux praticiens qui, depuis de longues années, emploient les mots ampère, volt, etc. Forcément le système de M. Blondel donnera lieu, et pendant longtemps, à de nombreuses confusions. Ceux qui ont péniblement acquis les notions qu'ils possèdent en électricité ne renonceront pas de sitôt aux unités actuelles, d'autant plus que les inscriptions des appareils de mesures continueront pendant de longues années à rappeler ces unités que l'on voudrait faire disparaître. Et ce qui prouve que cette objection n'est pas négligeable, c'est qu'on se sert encore quelquefois aujourd'hui en télégraphie d'appareils gradués en unités Siemens et que ces unités sont employées par quelques praticiens, bien qu'à l'époque où elles se sont répandues le nombre des électriciens fût des plus restreints. Quant à ceux qui, plus familiers avec les principes de la science électrique, consentiraient à employer, à partir de 1900, le nouveau système, nous craignons que, malgré leur bonne volonté, leurs écrits ne soient eux-mêmes une source de confusion, car, étant donné que depuis quelques années l'usage tend à se répandre parmi les éditeurs, sans doute pour des raisons commerciales, de ne plus mettre sur les ouvrages la date de leur publication, il sera souvent impossible de reconnaître à première vue le système dans lequel un ouvrage a été écrit.

Pour ces raisons, nous préférons le système américain. En créant des mots nouveaux pour les unités C.G.S, il ne peut donner lieu à des confusions. S'il est adopté et s'il se généralise au point de faire abandonner le système pratique actuel, il ne fera certainement pas pour cela tomber dans l'oubli les noms de Volta, Ampère, Ohm, Joule, Watt, qui se rencontrent constamment en électricité, en chaleur, en mécanique. Si après son adoption, il ne s'étend pas, et si le système actuel contiuue à être employé, son emploi temporaire n'aura d'autre inconvénient que de forcer un certain nombre d'électriciens à connaitre la signification de quelques mots nouveaux et peu usités, inconvénient peu grave auquel remédieront les formulaires de l'avenir.

J. B.

Electrolyseurs Corbin pour le blanchiment de la pâte de bois. — Dans son dernier numéro, notre confrère *L'Industie Electrochimique* reproduit un article de M. A. Navarre, publié par le journal *Le Papier*, article dont nous extrayons les renseignements qui suivent sur les électrolyseurs Corbin et sur leur application à l'usine de MM. Georges Bergès et Corbin, à Lancey (Isère).

L'électrolyseur Corbin consiste en une cuve rectangulaire divisée en compartiments par une série de feuilles minces de platine montées sur des cadres isolants faisant joint parfait contre les parois de la cuve. Les feuilles extrêmes sont connectées aux bornes d'une dynamo dont le voltage dépend du nombre de feuilles intermédiaires. Chacune de ces dernières feuilles agit comme une double électrode, l'une des faces servant d'anode, l'autre face servant de cathode. L'électrolyse est une solution de sel marin marquant 2°5 B.

Cet appareil présente plusieurs avantages sur l'électrolyseur Hermite qui a été employé au début dans l'usine de MM. Bergès et Corbin et qui était constitué par des lames de platine reliées en paral-

lèle, servant d'anodes, et par des lames de zinc, reliées également en parallèle, servant de cathodes. Dans ce dernier électrolyseur, les connexions des anodes avec le conducteur d'amenée du courant se trouvaient au-dessus des cuves et étaient rapidement détruites par les vapeurs éminemment oxydantes qui se dégagent des cuves ; d'autre part, le faible voltage aux bornes de l'électrolyseur (5 à 7 volts) et la grande intensité de courant requise (1 000 à 1 200 ampères) exigeaient l'emploi d'une dynamo spéciale, plus coûteuse et d'un moins bon rendement que les dynamos à haut voltage et faible intensité de courant. Dans l'électrolyseur Corbin, les connexions avec les conducteurs d'amenée et de sortie du courant, au nombre de deux seulement, peuvent être mises facilement à l'abri de toute détérioration; les feuilles, toutes en platine, n'exigent aucun entretien si l'on a soin d'inverser le courant toutes les douze heures ; enfin cet électrolyseur permet d'utiliser les dynamos d'éclairage de construction courante, en prenant une quantité suffisante de feuilles de platine.

Les électrolyseurs de Lancey se composent de 13 plaques de platine; ils marchent à 120 volts avec une intensité de courant de 150 ampères ; chacun d'eux absorbe donc une puissance de 25 chevaux environ. La solution électrolytique sert indéfiniment, on compense simplement par addition de sel les pertes par entraînement mécanique dans les eaux de lavage de la pâte ; cette perte peut être évaluée à 20 kg de sel par 100 kg de pâte blanchie. La solution passe, au sortir de l'électrolyseur, dans un bassin refroidisseur, puis tombe dans la pile blanchisseuse ; elle passe ensuite dans un réservoir d'où une pompe centrifuge la ramène à l'électrolyseur.

L'effet utile de chaque appareil en 24 heures est le blanchiment, poussé jusqu'à l'extra-blanc, de 750 kg de pâte au bisulfite.

La quantité de chlorure de chaux nécessaire au blanchiment de la pâte au bi-sulfite étant estimée à 20 kg par 100 kg de pâte, la production journalière d'un électrolyseur est donc équivalente à 150 kg de chlorure, Si l'on rapproche ce chiffre de nombres donnés par M. Navarre dans une autre partie de son article il ne semble pas que l'électrolyseur Corbin ait un meilleur rendement que l'électrolyseur Hermite. M. Navarre nous dit, en effet, qu'avec 1 000 ampères sous 6 volts l'électrolyseur Hermite employé à Lancey produisait une action journalière équivalente à celle de 50 kg de chlorure de chaux (la moitié de l'action annoncée par M. Hermite). Il résulte de ces chiffres que pour produire la même action que 150 kg de chlorure, soit le blanchiment de 750 kg de pâte, l'électrolyseur Hermite exigeait 18 kw pendant 24 heures ; or c'est précisément la puissance requise par l'électrolyseur Corbin pour produire le même effet pendant le même temps.

Ce rendement est d'ailleurs très suffisant pour motiver le remplacement du blanchiment au chlorure de chaux par le blanchiment électrolytique dans les usines ou la force motrice est à bon marché. En effet 150 kg de chlorure à 16 fr les 100 kg coûtent 24 fr ; si l'on a l'énergie à 100 fr le cheval-an les 25 chevaux-jour nécessaires au fonctionnement de l'électrolyseur reviendront à 8 fr environ ; en ajoutant à ce chiffre 3 fr pour les 150 kg de sel marin nécessaire à l'entretien de l'électrolyte on arrive seulement à 11 fr ; soit une économie de 5 fr en faveur du procédé électrolytique.

Dans le cas d'une usine traitant 3 000 kg de pâte par jour, soit 1 000 tonnes par an, l'économie annuelle serait, en supposant un fonctionnement ininterrompu, de

400 fr	pour	le cheval-an à	300 fr	
4 800 »	»	»	250	»
9 500 »	»	»	200	»
18 700 »	»	»	100	»
23 400 »	»	»	50	»

Les frais de première installation des électrolyseurs et accessoires d'une telle usine étant estimés à 60 000 fr, on voit que dans bien des cas il restera un bénéfice appréciable après déduction de l'intérêt et de l'amortissement du capital engagé.

Les gaz raréfiés possèdent-ils la conductivité électrolytique? — Depuis quelques années, il y a, parmi les physiciens, une tendance à considérer les gaz raréfiés comme naturellement doués d'une véritable conductivité électrolytique. M. J.-J. Thomson (Recent researches in Electricity and Magnétism, p. 92; 1893. Voir aussi *Lum. Elect.*, t. XLVIII, p. 511, 17 juin 1893), étudiant les décharges induites dans des tubes à gaz raréfié dépourvus d'électrodes, a même pu fournir une évaluation de cette conductivité qu'il a trouvée du même ordre que celle de l'eau acidulée à 25 p. 100 d'acide sulfurique.

Pour savoir si les gaz raréfiés se comportent, en toute circonstance, comme des électrolytes, M. Bouty (*Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 152, séance du 17 juillet) a fait les expériences suivantes :

« Entre les armatures d'un condensateur en relation avec une source à la différence de potentiel V.

introduisons un conducteur isolé. Nous produirons un accroissement de capacité que l'on mesure par des méthodes faciles à imaginer. Cet accroissement de capacité, 50 p. 100 par exemple, est parfaitement indépendant de la nature du conducteur employé, *métallique* ou *électrolytique*. Un ballon plein d'une dissolution saline se comporte comme un ballon plein de mercure. On peut même remplacer la dissolution saline par de l'eau distillée, de l'alcool, voire de l'essence de térébenthine rectifiée. Pourvu que la durée de charge ne soit pas trop courte, tous ces diélectriques se comportent, dans mon expérience, comme des conducteurs parfaits. Il en est encore de même d'un ballon dont l'une des surfaces, externe ou interne, conserve une faible trace d'humidité adhérente.

» Il convient d'insister sur ce fait, que l'*accroissement de capacité mesuré se montre parfaitement indépendant de la différence de potentiel V employée*, quelque faible que soit celle-ci. Cette indépendance constitue *un caractère essentiel* de la conductivité, soit métallique, soit électrolytique.

» Au contraire, si entre les armatures d'un condensateur on introduit un ballon plein d'air, à la pression atmosphérique, soigneusement paraffiné à l'intérieur et à l'extérieur pour supprimer toute trace de conduction par les parois, le verre du ballon ne produit qu'un accroissement de capacité insignifiant du condensateur, 2 ou 3 p. 100 par exemple, quelque grande que soit la différence de potentiel employée. Il est donc très facile de décider si le contenu du ballon est, ou non, *un corps conducteur*.

» Premier cas : *Tubes de Crookes*. — Cela posé, j'ai d'abord introduit entre les armatures de mon condensateur tous les tubes à gaz très raréfiés que j'ai pu me procurer : des lampes à incandescence, des tubes de Crookes de diverses formes, un radiomètre, enfin des tubes sans électrodes spécialement préparés pour cet usage et dans lesquels on avait fait le vide de Crookes.

» Tous ces tubes étaient soigneusement paraffinés à l'extérieur. Bien que quelques-uns d'entre eux continssent de petites portions métalliques isolées armatures et fils des lampes, électrodes des tubes de Crookes, ailettes du radiomètre), ils se sont comportés très sensiblement comme le ballon plein d'air à la pression atmosphérique. Ainsi une certaine lampe à incandescence placée entre les plateaux du condensateur produisait uniformément un accroissement de capacité de 3 p. 100. On l'a ouverte en brisant la pointe et on a laissé rentrer sans précaution de l'air humide : la paroi est devenue assez conductrice pour faire monter brusquement à 30 p. 100 l'accroissement de capacité. On a pu alors introduire dans la lampe de l'eau de rivière ou même une dissolution saline; l'accroissement de capacité est demeuré égal à 30 p. 100.

» Le vide de Crookes, tel qu'on le produit dans les appareils précités, se montre donc *absolument dénué de conductivité*, même quand les armatures du condensateur ne sont distantes que de 3 cm et que l'on introduit entre elles une différence de potentiel de 2 000 volts.

» Deuxième cas : *Tubes de Geissler*. — Dans les tubes de Crookes, la pression du gaz est généralement comprise entre 0,01 mm et 0,001 mm. Si l'on emploie des tubes de Geissler (dans lesquels la pression est de l'ordre de 1 mm à 5 mm), on trouve encore que, pour des valeurs médiocres du champ électrostatique, les tubes se comportent comme des ballons pleins d'air à la pression atmosphérique, ce qui exclut toute idée d'une *conductivité électrolytique du gaz*.

» Toutefois, pour un voltage suffisant, le tube paraît être devenu conducteur, c'est-à-dire que désormais il accroît uniformément, de 50 p. 100 par exemple, la capacité du condensateur. Observé dans une obscurité complète, le tube en expérience se remplit d'une lueur instantanée, *aussi bien au moment de la charge qu'au moment de la décharge*. La production de cette lueur paraît inséparable de la conductivité apparente.

» Pour une certaine valeur critique du champ, il arrive indifféremment que l'accroissement de capacité se produit ou ne se produit pas : c'est-à-dire que, dans plusieurs expériences consécutives, on observe un accroissement de capacité, tantôt de 2 p. 100, tantôt de 50 p. 100, suivant des circonstances accessoires analogues à celles qui agissent sur les décharges entre des conducteurs dans l'air à la pression atmosphérique.

» J'ai soumis les phénomènes de conduction apparente par les gaz raréfiés à une étude systématique, dont je publierai prochainement les résultats.

» Je me bornerai à insister aujourd'hui sur l'évidente discontinuité que présente, dans ces expériences, la manière d'être du gaz. Pour une pression donnée p, tant que le champ demeure au-dessous d'une certaine valeur critique f, le tube reste obscur et il n'y a pas d'accroissement sensible de capacité dû au gaz : *le gaz raréfié est un parfait diélectrique*. Pour des champs supérieurs à f, il se pro-

duit dans la masse du gaz comme *une rupture*, manifestée par la luminescence du tube. Tout se passe comme si l'on avait dépassé une *limite d'élasticité électrique* au delà de laquelle le gaz est capable de fournir aux parois du tube les charges électriques positives et négatives qui annuleront le champ dans son intérieur.

» D'après toutes les analogies il convient, ce me semble, de réserver le nom de *décharge* au phénomène qui nous occupe.

» Tout au moins ne saurait-on parler d'*ions libres* dans un gaz raréfié à une pression quelconque *et dans les conditions normales* (Bien entendu, je ne parle pas des gaz modifiés par les rayons X, les rayons uraniques, etc.). On ne saurait davantage assimiler les propriétés électriques d'un gaz à celles d'aucun électrolyte connu. »

Sur la cohésion diélectrique des gaz raréfiés. — Dans une nouvelle note présentée à la séance de l'Académie des sciences du 24 juillet (*Comptes rendus*, p. 204), M. Bouty fait connaître les résultats des mesures qu'il a entreprises pour déterminer la relation qui existe entre la valeur critique f du champ qui donne lieu à la conductibilité d'un gaz raréfié et la pression p de ce gaz.

Dans ces expériences les tubes étaient montés à demeure sur une machine pneumatique en relation avec un double baromètre Leduc; les pressions, comprises généralement entre 1 cm et 0,25 mm, étaient mesurées avec une approximation d'au moins 1/50 de millimètre. Le condensateur, monté sur un chariot, pouvait être écarté à volonté ou venir encadrer le tube. Il était chargé au moyen d'une batterie de petits accumulateurs pouvant donner jusqu'à 2 000 volts. On mesurait la variation de sa capacité sous l'influence du tube à gaz, par comparaison des charges qu'il reçoit, avec ou sans le tube à gaz, en le déchargeant sur un électromètre capillaire convenablement étalonné. On mesurait d'autre part la différence de potentiel critique $V_1 - V_2$ et on en déduisait la valeur critique du champ par la formule $f = \frac{V_1 - V_2}{e}$, où e désigne la distance des armatures.

Cette dernière formule ne donne la valeur du champ à l'extérieur du tube que si la distance e est très petite. De plus le champ à l'intérieur du tube ne peut être confondu avec le champ extérieur que si le tube est de forme sphérique et a des parois d'épaisseur uniforme et très petite. Toutefois M. Bouty estime que toutes les causes perturbatrices ne peuvent altérer la valeur de f que par un facteur constant pour un même tube et une distance donnée des plateaux et, en général, assez voisin de 1. L'expérience montre en effet que, dans les limites pratiques, les valeurs de f trouvées pour une série de valeurs de p avec des tubes de forme différente et diverses distances des plateaux sont proportionnelles.

Les résultats des expériences peuvent s'exprimer par l'équation

$$f = A\left(1 + Bp + \frac{C}{p}\right)$$

qui représente une hyperbole asymptote à l'axe des f et à la droite $f = A(1 + Bp)$. L'intensité critique f, que M. Bouty appelle la *cohésion diélectrique* puisqu'elle mesure *l'obstacle que le gaz oppose à la rupture de l'équilibre*, décroît d'abord quand la pression augmente, passe par un minimum et redevient très grande pour des pressions comparables à la pression atmosphérique.

M. Bouty explique ce fait en admettant que les molécules de gaz agissent de deux manières distinctes pour modifier la cohésion diélectrique de l'éther, qui est indéfinie. Quand les molécules gazeuses sont très écartées, pour ainsi dire isolées, elles n'agissent que pour rompre la continuité de l'éther ou elles introduisent autant de points faibles; d'où le terme en $\frac{1}{p}$ prépondérant aux très basses pressions. Quand les molécules sont assez rapprochées pour réagir les unes sur les autres, leur action réciproque parait s'exercer dans un sens tel que la cohésion résultante est renforcée proportionnellement à leur nombre; d'où le terme en p prépondérant aux pressions élevées.

M. Bouty a opéré avec l'air, le gaz d'éclairage, l'acide carbonique et l'hydrogène.

Le coefficient B, le mieux déterminé par les expériences, se montre indépendant de la nature du gaz. Il semble en être de même du coefficient C.

Seul le coefficient A croît avec le poids moléculaire. En prenant pour unité le coefficient relatif à l'hydrogène, M. Bouty a trouvé les nombres suivants qu'il donne seulement à titre de première indication : Hydrogène 1,00; gaz d'éclairage 1,16; air 1,40; acide carbonique 1,55.

Si l'on évalue p en millimètres de mercure, on a sensiblement 4,4 pour le rapport $\frac{B}{C}$.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XX. Samedi 12 Août 1899 6e Année. — N° 32.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

COMPTEUR D'ÉLECTRICITÉ BLONDLOT

Le principe de cet appareil a été exposé par M. Blondlot, professeur à la Faculté de Nancy, dans une communication à l'Académie des Sciences, en date du 13 juin 1898 et reproduite dans ce journal [1]. Rappelons-le brièvement.

Dans la partie centrale d'une bobine horizontale est suspendue une seconde bobine formée de quelques tours de fils. Cette seconde bobine est reliée en série à la première; son plan est vertical et sa suspension lui permet de tourner autour d'un axe également vertical. Lorsqu'un courant traverse les deux bobines, la bobine centrale prend une position d'équilibre dans laquelle ses spires sont parallèles à celles de la bobine fixe; si on l'écarte de cette position elle exécute des oscillations isochrones et la période des oscillations est en raison inverse de la racine carrée du moment du couple des forces électrodynamiques. Or ce moment est proportionnel, d'une part à l'intensité du courant qui traverse la bobine mobile, d'autre part à celle du courant qui traverse la bobine fixe. Les deux bobines étant, comme il a été dit, traversées par le même courant, le moment du couple est donc proportionnel au carré de l'intensité de ce courant. Par suite la durée d'une oscillation est inversement proportionnelle à l'intensité du courant; en d'autres termes le produit de l'intensité par la durée d'une oscillation, c'est-à-dire la quantité d'électricité qui traverse une section du circuit pendant qu'une oscillation s'accomplit, est une constante. Il suffira donc de connaître cette constante et le nombre des oscillations accomplies pendant un certain temps pour avoir, par leur produit, la quantité d'électricité ayant circulé pendant ce temps et réaliser ainsi un coulombmètre.

Dans le cas où la bobine fixe est très longue la valeur de la constante peut se déterminer aisément par le calcul. En effet, si n est le nombre de spires de la bobine fixe par centimètre, le champ dans la région centrale est $4\pi ni$, i étant l'intensité du courant. Si on appelle S la surface totale limitée par les spires de la bobine mobile, le moment magnétique de l'aimant équivalent à cette bobine est Si. Par

(1) *L'Éclairage Électrique* du 2 juillet 1898, t. XVI, p. 40.

conséquent, en désignant par K le moment d'inertie de l'équipage mobile, on a pour la durée d'une oscillation,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{K}{4\pi n i \times S i}},$$

d'où l'on tire

$$i\,T = \sqrt{\frac{K\pi}{n\,S}}.$$

Pour ne pas donner au circuit du compteur une résistance trop grande on a été conduit à donner à la bobine fixe une longueur trop

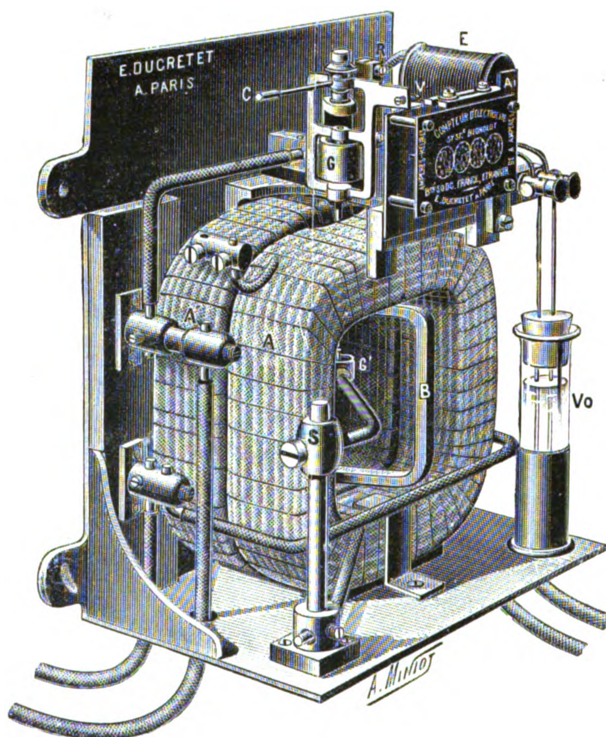


Fig. 1. — Vue intérieure du compteur d'électricité Blondlot.

faible pour qu'on puisse appliquer ce calcul. La détermination de la constante se fait alors expérimentalement en mesurant la durée d'oscillation de l'équipage mobile, le compteur étant traversé par un courant d'intensité connue.

La figure 1 donne une vue intérieure du modèle de compteur construit sur ce principe par M. Ducretet. Les figures 2 et 3 en donnent une coupe verticale par l'axe de la grande bobine et une projection horizontale. Le schéma de la figure 4 indique les connexions.

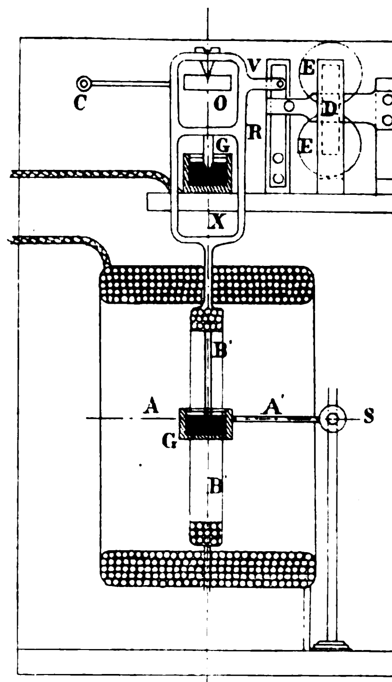


Fig. 2. — Coupe verticale par l'axe des bobines.

Les bobines fixe et mobile sont représentées en AA' BB'. La bobine mobile est suspendue en O; ses extrémités plongent dans

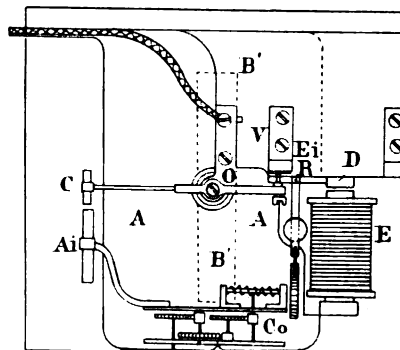


Fig. 3. — Projection horizontale.

deux godets à mercure G et G'. Cette bobine n'oscille que d'un seul côté de son azimuth d'équilibre. Ses oscillations sont entretenues au moyen d'un ressort R formé d'une lame métallique plane et qui, chaque fois que la bobine mobile vient dans sa position d'équi-

libre, communique au bras V solidaire de l'étrier de suspension une impulsion quasi instantanée. A cet effet le ressort R est relié au circuit d'un électro-aimant E, lui-même relié à l'un des conducteurs principaux de la distribution. Quand le bras V vient toucher le ressort un courant dérivé s'établit dans le circuit de l'électro-aimant, l'armature D de celui-ci est attirée et libère le ressort R qu'elle maintenait légèrement infléchi; le ressort se détend et donne l'impulsion nécessaire. Immédiatement après le circuit de l'électro-aimant est rompu et son armature, écartée par un ressort du noyau de l'électro-aimant, ramène le ressort R dans sa position primitive.

Pour supprimer l'étincelle d'extra-courant de rupture du circuit de l'électro-aimant on a placé en dérivation sur cet électro-aimant une résistance liquide V*o* (fig. 4) constituée par deux fils métalliques immergés dans l'eau; en réglant convenablement la résistance du liquide on arrive à la suppression absolument complète de l'étincelle.

Un dispositif spécial assure le démarrage du compteur même pour des courants de très

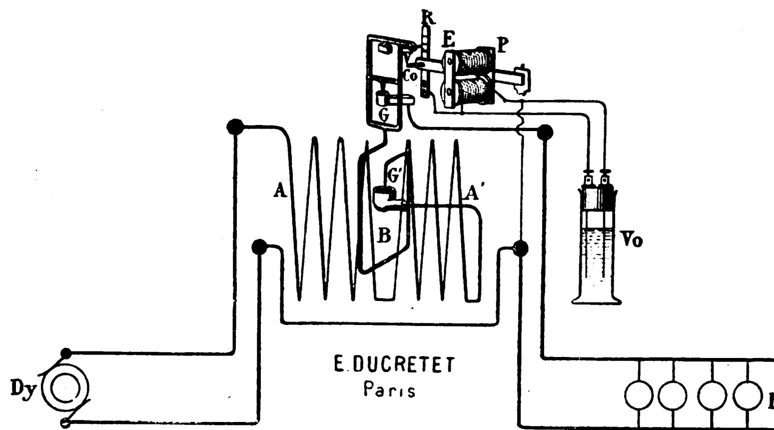


Fig. 4. — Schéma des connexions.

faible intensité (0,2 amp.). Ce démarrage pourrait en effet ne pas se produire si la bobine s'est arrêtée dans une position voisine de sa position d'équilibre, car dans ces conditions le moment des forces électrodynamiques exercées par la bobine fixe sur la bobine mobile est très faible. Il faut donc faire en sorte que la bobine mobile ne puisse s'arrêter trop près de sa position d'équilibre. Dans ce but l'étrier de suspension de la bobine mobile porte un cylindre de fer doux C (fig. 1, 2, et 3) qui sert d'armature à un aimant A*i* (fig. 1 et 3) fixé de telle sorte que quand la bobine est dans sa position d'équilibre la distance de l'armature à l'aimant soit très faible. Si la bobine mobile se rapproche trop de sa position d'équilibre, l'aimant agit sur l'armature, la bobine est entraînée, le bras V vient toucher le ressort R et, l'électro-aimant E entrant en jeu comme il a été expliqué plus haut, la bobine mobile se trouve écartée de sa position d'équilibre sous l'action de ce ressort.

Le nombre des oscillations est enregistré de la manière suivante : chaque fois que l'électro-aimant E agit sur son armature D, un cliquet fixé à celle-ci fait avancer d'une dent la première roue d'un enregistreur de tours Co.

Ce compteur présente quelques avantages sur les compteurs d'usage courant. En premier lieu la disposition adoptée pour enregistrer le nombre des oscillations élimine l'effet perturbateur que la résistance passive de l'enregistreur de tours pourrait avoir sur

ces oscillations, puisque c'est l'électro-aimant seul qui fait mouvoir cet enregistreur. En second lieu, si l'on excepte le petit aimant servant à assurer le démarrage et qui n'a, comme l'ont montré des essais soignés, aucun effet sur la durée d'oscillation, le compteur Blondlot ne contient aucun aimant permanent. Il n'y a donc à craindre aucune variation avec le temps de la constante du compteur soit par suite d'une modification du frottement des rouages du compteur de tours, soit par suite d'une désaimantation des aimants. La seule cause de variation pourrait être une modification de l'élasticité du ressort qui entretient les oscillations, mais, comme permettait de le prévoir la théorie du pendule et comme l'ont montré des essais, la grandeur de l'impulsion donnée par le ressort à l'équipage mobile est sans influence sur la durée de l'oscillation, à condition que l'écart reste petit.

D'un autre côté les indications du comp-

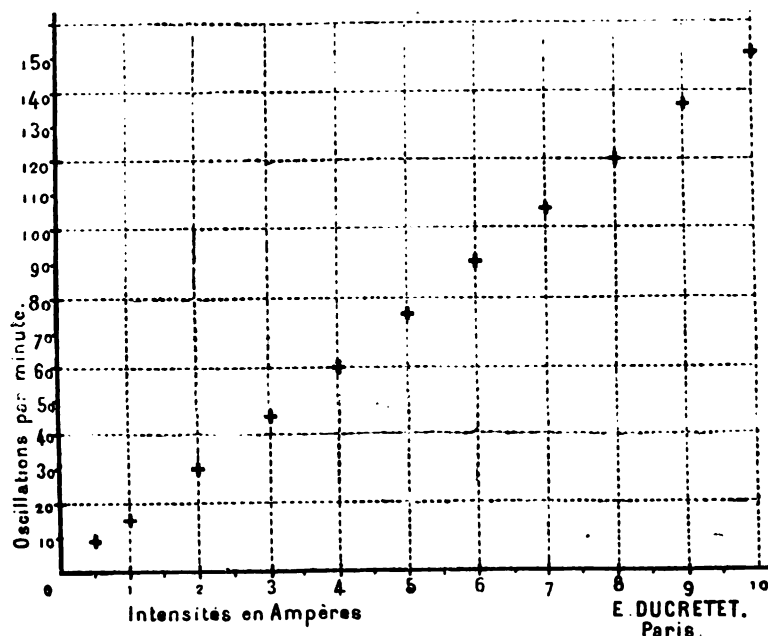


Fig. 5. — Diagramme montrant la proportionnalité du nombre des oscillations par minute à l'intensité.

teur sont rigoureusement proportionnelles à la quantité d'électricité débitée. C'est ce que montre le diagramme de la figure 5 sur lequel sont portées en abscisses les intensités du courant mesurées en ampères et en ordonnées les nombres correspondants d'oscillations en une minute; on voit que les points du diagramme sont rigoureusement sur une droite passant par l'origine. Des essais faits avec des intensités de courants inférieures à 1 ampère ont montré qu'au-dessous de 0,5 ampère les indications du compteur sont un peu trop fortes ce qui tient à ce que l'amplitude des oscillations est alors trop grande pour que l'isochronisme subsiste rigoureusement; l'inexactitude est toutefois minime et absolument négligeable dans les applications.

Le démarrage a lieu, comme il a été dit, pour les plus faibles courants utilisés en pratique; en outre le compteur obéit instantanément aux variations les plus brusques de l'intensité. Théoriquement les variations de l'intensité devraient se produire, pour que les indications fussent rigoureusement exactes, exclusivement aux instants où la bobine mobile passe par sa position d'équilibre. Mais comme le nombre des oscillations est déjà de 30 par minute pour des courants de 2 ampères il est évident que quelle que soit la phase de l'oscillation à l'instant de la variation il

ne peut en résulter d'erreur appréciable.

Enfin le réglage et la vérification du compteur se font très rapidement et très simplement. Pour le réglage on fait traverser le compteur par un courant constant d'intensité connue et, par le déplacement de deux petites masses fixées à la bobine mobile, on modifie le moment d'inertie et par suite la durée d'oscillation de celle-ci jusqu'à ce que les indications du compteur correspondent exactement à la quantité d'électricité qui le traverse pendant un certain temps. Le nombre des oscillations par minute correspondant au réglage étant inscrit de façon apparente sur chaque instrument, il suffit, pour la vérification, de s'assurer que le nombre des oscillations (que l'on entend très distinctement) effectuées en une minute quand le compteur est traversé par un courant d'intensité égale à celui du réglage est bien celui qu'indique l'appareil.

Le seul reproche que l'on pourrait faire au compteur Blondlot est que, ne mesurant que les quantités d'électricité, il ne tient pas compte de l'influence des variations du potentiel de distribution sur la consommation d'énergie. Mais cet inconvénient, si d'ailleurs c'en est un, est largement compensé par l'avantage suivant : Dans les watts-heure-mètres il y a, par suite du passage continuel d'un courant dans la bobine en dérivation, une perte d'énergie assez considérable ; avec le compteur Blondlot cette perte est évitée quand le compteur ne fonctionne pas et elle est réduite à son minimum quand le compteur fonctionne puisque la bobine en dérivation nécessaire à l'entretien des oscillations n'est traversée par un courant que pendant une faible fraction de la durée des oscillations.

Ce compteur paraît donc digne, tant par la nouveauté de son principe que par l'ingéniosité de ses détails, du savant professeur qui l'a imaginé.

J. Reyval.

ÉTUDE SUR LA TRANSMISSION ET LA DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE

PAR LES COURANTS ALTERNATIFS [1]

CINQUIÈME PARTIE

TRANSFORMATEURS REDRESSEURS

I. — Caractères principaux de ces appareils.

Nous appellerons *transformateur-redresseur* un appareil composé d'un transformateur dont les circuits primaires seront parcourus par des courants alternatifs simples ou polyphasés, d'intensités constantes ou débités sous un voltage constant. Les extrémités de ces circuits secondaires seront reliées aux touches d'un commutateur. Des balais mus par un moteur synchrone, tournant autour du commutateur devront permettre de recueillir un courant continu dont le voltage ne devra pas subir plus de variations que si le courant était fourni par une machine à courant continu ordinaire. Autrement dit, le courant obtenu de cette manière devra pouvoir servir à charger des accumulateurs.

Nous aurons à considérer trois cas principaux, suivant que l'énergie sera transportée par :

1° Un courant alternatif simple d'intensité constante ;

2° Un courant alternatif simple sous voltage constant ;

3° Des courants alternatifs polyphasés débités sous voltage constant.

---

[1] *L'Éclairage Électrique* du 5 août 1899, p. 171.

II. — Transformateur-redresseur pour courant alternatif simple d'intensité constante.

Un courant alternatif simple, d'intensité $I = a \sin 2\pi\alpha t$, ne peut débiter qu'une quantité d'énergie variable avec le temps, telle que $E = E_0 \sin^2 \pi\alpha t$. Au contraire, le débit d'énergie d'un courant continu de voltage également continu est lui-même parfaitement continu. Il faut donc, de toute nécessité, que l'appareil comporte un réservoir momentané d'énergie faisant l'office de volant.

Dans le cas actuel, nous supposerons ce réservoir constitué soit par une bobine de self-induction L intercalée dans le circuit du courant continu, comme il est représenté sur la figure 35, soit, de préférence, par un

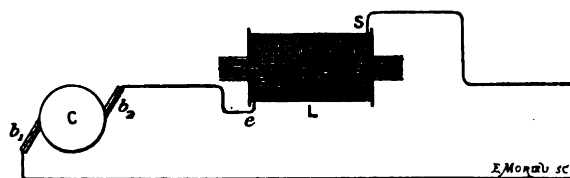


Fig. 35.

transformateur dont le circuit primaire serait aussi intercalé dans le circuit du courant continu et le circuit secondaire fermé sur une forte résistance (fig. 36).

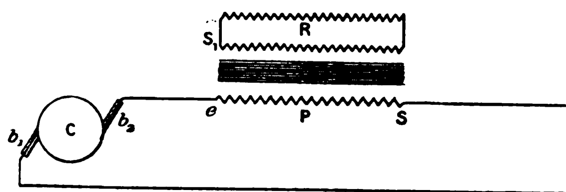


Fig. 36.

Supposons, en effet, que nous soyons parvenus à faire débiter par le transformateur-redresseur proprement dit un courant d'intensité constante : la force électromotrice développée entre les balais b_1, b_2 du commutateur C sera nécessairement de la forme

$$E = E_0 \sin^2 2\pi\alpha t.$$

On a identiquement

$$E_0 \sin^2 2\pi\alpha t = \frac{E_0}{2}(1 - \cos 4\pi\alpha t).$$

Nous pouvons donc considérer la force électromotrice ainsi développée comme la superposition d'une force électromotrice continue et d'une force électromotrice alternative. Celles-ci tendront à produire simultanément un courant continu et un courant alternatif de fréquence 2α. La bobine de self-induction n'opposera aucun obstacle au passage du courant continu mais s'opposera à celui du courant alternatif, si bien que le voltage pris entre la sortie S de cette bobine et le balai b_1 sera aussi continu.

De même, le circuit primaire du transformateur employé comme il vient d'être dit laissera passer librement le courant continu, mais opposera une grande résistance au passage du courant alternatif.

Cela posé, nous n'avons plus à demander à notre transformateur-redresseur que de fournir un courant d'intensité constante.

Supposons le problème résolu. Nous savons que dans un transformateur bien construit, dont les noyaux magnétiques ont une grande perméabilité, la somme algébrique des nombres d'ampères-tours développés par ses circuits primaire et secondaire est sensiblement nulle.

Si le nombre des spires ν du circuit primaire est constant et si ce circuit est parcouru par un courant d'intensité $I = a \sin 2\pi\alpha t$, le nombre d'ampères-tours développés par le circuit primaire est égal à

$$\nu I = \nu a \sin 2\pi\alpha t.$$

Si le circuit secondaire est parcouru par un courant d'intensité constante A, et si l'on désigne par n le nombre des spires de ce circuit on devra avoir

$$\nu a \sin 2\pi\alpha t + nA = 0.$$

Ce nombre de spires n doit donc varier en fonction du temps, suivant une fonction sinusoïdale de même période que l'intensité du courant primaire.

Nous arriverons à ce résultat de la manière suivante :

Soit xy un noyau magnétique (fig. 37) autour duquel sont enroulés :

1° Un circuit primaire P de n spires ;

2° k circuits secondaires tels que S_1, S_2, S_3, ...S_k ($k=6$ sur la figure) ayant des nombres de spires $n_1, n_2, n_3, \ldots, n_k$ tels que l'on ait, en désignant par N une constante représentant un nombre de spires et en supposant $k = 6$ (le nombre k devant toujours être un nombre pair).

$$n_1 = n_4 = \mathrm{N} \sin \frac{\pi}{6},$$

$$n_2 = n_5 = \mathrm{N}\left(\sin \frac{2\pi}{6} - \sin \frac{\pi}{6}\right),$$

$$n_3 = n_6 = \mathrm{N}\left(\sin \frac{3\pi}{6} - \sin \frac{2\pi}{6}\right).$$

On a supposé, sur la figure, pour faciliter son intelligence, que les divers circuits entourant le noyau xy étaient juxtaposés : il est bien entendu qu'ils devront toujours être superposés.

Les k circuits secondaires sont reliés entre eux et avec les $2k$ touches d'un collecteur CC, comme on le voit sur la figure 37. Autour de ce collecteur peut se mouvoir un balai F qui communique avec une bague sur laquelle s'appuie un frotteur fixe f. Le circuit extérieur de l'appareil XY, où l'on veut développer un courant continu, est branché entre le frotteur f et le point de jonction des circuits secondaires S_4 et S_1.

Le nombre de spires enroulées autour du noyau xy qui feront partie du circuit XY variera lorsque le balai F tournera autour du collecteur, comme l'indique le tableau suivant :

Numéro de la touche du collecteur sur laquelle s'appuie le balai.	Circuits secondaires intercalés dans le circuit XY.	Nombre de spires autour du noyau xy compris dans le circuit XY.	
1. . . .	0	0	$= \mathrm{N} \sin 0$
2. . . .	S_1	$\mathrm{N} \sin \frac{\pi}{6}$	$= \mathrm{N} \sin \frac{\pi}{6}$
3. . . .	$S_1 + S_2$	$\mathrm{N} \sin \frac{\pi}{6} + \mathrm{N}\left(\sin \frac{2\pi}{6} - \sin \frac{\pi}{6}\right)$	$= \mathrm{N} \sin \frac{2\pi}{6}$
4. . . .	$S_1 + S_2 + S_3$	$\mathrm{N} \sin \frac{\pi}{6} + \mathrm{N}\left(\sin \frac{2\pi}{6} - \sin \frac{\pi}{6}\right) + \mathrm{N}\left(\sin \frac{3\pi}{6} - \sin \frac{2\pi}{6}\right)$	$= \mathrm{N} \sin \frac{3\pi}{6}$
5. . . .	$S_1 + S_2$	$\mathrm{N} \sin \frac{\pi}{6} + \mathrm{N}\left(\sin \frac{2\pi}{6} - \sin \frac{\pi}{6}\right)$	$= \mathrm{N} \sin \frac{4\pi}{6}$
6. . . .	S_1	$\mathrm{N} \sin \frac{\pi}{6}$	$= \mathrm{N} \sin \frac{5\pi}{6}$
7. . . .	0	0	$= \mathrm{N} \sin \frac{6\pi}{6}$
8. . . .	$-S_4$	$-\mathrm{N} \sin \frac{\pi}{6}$	$= \mathrm{N} \sin \frac{7\pi}{6}$
9. . . .	$-(S_4 + S_5)$	$-\mathrm{N} \sin \frac{\pi}{6} - \mathrm{N}\left(\sin \frac{2\pi}{6} - \sin \frac{\pi}{6}\right)$	$= \mathrm{N} \sin \frac{8\pi}{6}$
10. . . .	$-(S_4 + S_5 + S_6)$	$-\mathrm{N} \sin \frac{\pi}{6} - \mathrm{N}\left(\sin \frac{2\pi}{6} - \sin \frac{\pi}{6}\right) - \mathrm{N}\left(\sin \frac{3\pi}{6} - \sin \frac{2\pi}{6}\right)$	$= \mathrm{N} \sin \frac{9\pi}{6}$
11. . . .	$-(S_4 + S_5)$	$-\mathrm{N} \sin \frac{\pi}{6} - \mathrm{N}\left(\sin \frac{2\pi}{6} - \sin \frac{\pi}{6}\right)$	$= \mathrm{N} \sin \frac{10\pi}{6}$
12. . . .	S_4	$-\mathrm{N} \sin \frac{\pi}{6}$	$= \mathrm{N} \sin \frac{11\pi}{6}$

Dans ce tableau, nous avons affecté les nombres de spires des circuits S_1, S_2, S_3 du signe +, et ceux des circuits S_4, S_5, S_6 du signe —, parce qu'un même courant lancé dans le circuit XY traversera les premiers dans un sens, et les seconds en sens inverse.

Une même variation de flux dans le noyau xy développerait donc dans le circuit XY des

forces électromotrices égales, mais de signes contraires suivant que ce circuit compren-

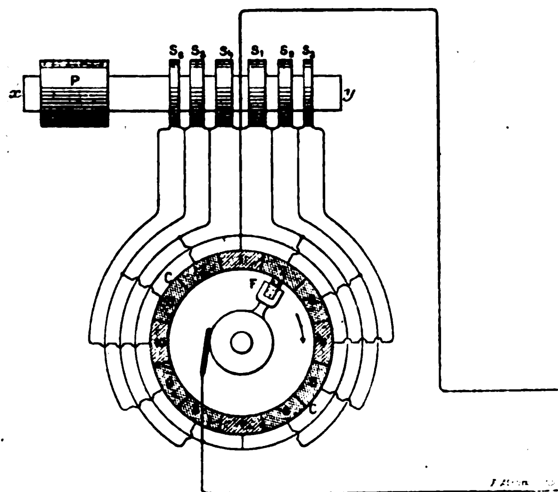


Fig. 37.

drait le circuit S_1 ou S_4, le circuit S_2 ou le circuit S_5,...

La ligne brisée de la figure 38 représente

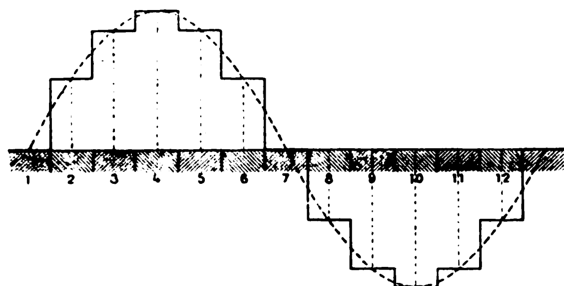


Fig. 38.

la loi de variation du nombre de spires entourant le noyau xy et comprise dans le circuit extérieur XY lorsque le balai F s'appuie successivement sur les touches 1, 2,..., 12 du collecteur.

On voit que les points de cette ligne, dont les extrémités des abscisses tombent au milieu des touches du collecteur, se trouvent sur un arc de sinusoïde. On conçoit immédiatement que plus le nombre k des circuits secondaires du transformateur sera grand, plus la ligne brisée de la figure tendra à se confondre avec l'arc de sinusoïde autour duquel elle se développe.

Problème. — *Étant donné un arc de sinusoïde représenté par l'équation* $y = A \sin x$ *et par la courbe de la figure* 38, *on trace les* $2k$ *ordonnées ayant pour abscisses des longueurs successivement égales à* $0, \frac{\pi}{k}, \frac{2\pi}{k}, \frac{3\pi}{k}, \ldots, (2k-1)\frac{\pi}{k}$. *Par les extrémités de ces coordonnées, on mène des horizontales ayant une longueur égale à* $\frac{\pi}{k}$ *dont les milieux coïncident avec les milieux des ordonnées considérées. On relie ensuite l'extrémité de chacune de ces horizontales avec le point initial de la suivante, au moyen d'une droite verticale.*

On obtient, de cette manière, la ligne brisée représentée figure 38 et qui se développe de part et d'autre de l'arc de sinusoïde.

Cette ligne brisée peut être considérée comme représentant une nouvelle fonction $z = f(x)$ de la variable x. On demande de développer, suivant la série de Fourier, la fonction $z = f(x)$.

Nous savons que l'on peut écrire

$$z = A_1 \sin x + A_2 \cos 2x + \ldots + A_n \sin nx + B_1 \cos x + B_2 \sin 2x + \ldots + B_n \cos nx,$$

et que l'on a, d'une manière générale,

$$A_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} z \sin nx\,dx, \quad B_n \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} z \cos nx\,dx$$

Désignons par α un nombre entier compris entre 0 et $2k$. Dans le cas particulier qui nous occupe, lorsque la variable x variera entre les limites $\left(\alpha - \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{k}$ et $\left(\alpha + \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{k}$, la fonction z demeurera constante et égale à $A \sin \alpha \frac{\pi}{k}$.

On peut écrire, en posant $z_\alpha = A \sin \alpha \frac{\pi}{k}$,

$$\int_0^{2\pi} z \sin nx\,dx = z_0 \int_0^{\frac{\pi}{2k}} \sin nx\,dx + z_1 \int_{\frac{\pi}{2k}}^{\frac{3\pi}{2k}} \sin nx\,dx + \ldots + z_\alpha \int_{\left(\alpha - \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{k}}^{\left(\alpha + \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{k}} \sin nx\,dx + \ldots$$

On a

$$z_\alpha \int_{\left(\alpha - \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{k}}^{\left(\alpha + \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{k}} \sin nx\,dx = -\frac{z_\alpha}{n}\left[\cos n\left(\alpha + \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{k} - \cos n\left(\alpha - \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{k}\right] = \frac{2 z_\alpha}{n} \sin n \alpha \frac{\pi}{k} \sin \frac{n\pi}{2k}.$$

ou, en remplaçant z_α par sa valeur,

$$\frac{1}{\pi} z_\alpha \int_{\left(\alpha-\frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{k}}^{\left(\alpha+\frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{k}} \sin nx\,dx = \frac{A}{\pi n} \sin\frac{n\pi}{2k} \left[\cos(n-1)\alpha\frac{\pi}{k} - \cos(n+1)\alpha\frac{\pi}{k}\right].$$

Si l'on remarque que l'on a

$$z_0 \int_{-\frac{\pi}{2k}}^{\frac{\pi}{2k}} \sin nx\,dx = 0,$$

puisque le facteur z_0 est nul, on voit que l'on peut écrire

$$\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} z \sin nx\,dx$$

$$= \frac{A}{\pi n} \sin\frac{\pi n}{2k} \left\{ \begin{array}{l} \left[\cos(n-1)\frac{\pi}{k} + \cos(n-1)\,1\,\frac{\pi}{k} \right. \\ \quad + \cos(n-1)\,2\,\frac{\pi}{k} + \ldots \\ \quad \left. + \cos(n-1)(2k-1)\frac{\pi}{k}\right] \\ -\left[\cos(n+1)\frac{\pi}{k} + \cos(n+1)\,1\,\frac{\pi}{k} \right. \\ \quad + \cos(n+1)\,2\,\frac{\pi}{k} + \ldots \\ \quad \left. + \cos(n+1)(2k-1)\frac{\pi}{k}\right] \end{array} \right\}$$

Or, nous savons que l'on a

$$\cos u + \cos(u+v) + \cos(u+2v) + \ldots + \cos[u+(2k-1)v] = \frac{\sin kv}{\sin\frac{v}{2}} \cos\left[u + (2k-1)\frac{v}{2}\right].$$

En appliquant cette formule, il vient

$$\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} z \sin nx dx = \frac{A}{\pi n}\sin\frac{n\pi}{2k}\left[\frac{\sin(n-1)\pi}{\sin(n-1)\frac{\pi}{2k}} \cos(n-1)(2k-1)\frac{\pi}{2k} - \frac{\sin(n+1)\pi}{\sin(n+1)\frac{\pi}{2k}} \cos(n+1)(2k-1\frac{2k}{\pi}\right]$$

Nous aurons toujours

$$\sin(n-1)\pi = \sin(n+1)\pi = 0.$$

Les termes de l'expression précédente seront donc toujours nuls, à moins que l'on ait

$$\sin(n-1)\frac{\pi}{2k} = 0 \quad \text{ou} \quad \sin(n+1)\frac{\pi}{2k} = 0.$$

Si nous désignons par p un nombre entier, cela arrivera lorsque l'on aura

$$\frac{n-1}{2k} = p \quad \text{ou} \quad \frac{n+1}{2k} = p,$$

c'est-à-dire lorsque l'on aura

$$n = 2kp \pm 1.$$

Les rapports $\frac{\sin(n-1)\pi}{\sin(n-1)\frac{\pi}{2k}}$ et $\frac{\sin(n+1)\pi}{\sin(n+1)\frac{\pi}{2k}}$ se présenteront alors sous la forme $\frac{0}{0}$.

Nous lèverons l'indétermination en considérant ces rapports comme des fonctions de n et en formant le rapport des dérivées des numérateurs et des dénominateurs.

Nous trouvons ainsi, pour $n = 2kp + 1$.

$$\frac{\sin(n-1)\pi}{\sin(n-1)\frac{\pi}{2k}} = \frac{2k}{\cos p\pi},$$

$$\cos(n-1)(2k-1)\frac{\pi}{2k} = \cos p\pi$$

et, pour $n = 2kp - 1$,

$$\frac{\sin(n+1)\pi}{\sin(n+1)\frac{\pi}{2k}} = \frac{2k}{\cos p\pi},$$

$$\cos(n+1)(2k-1)\frac{\pi}{2k} = \cos p\pi.$$

Donnons successivement à p les valeurs 1, 2, 3, ..., l.

Nous aurons

pour $p = 0$ $n = 1$. . . . $A_1 = \frac{A}{\pi} 2k \sin\frac{\pi}{2k}$,

pour $p = 1$ $\left\{ \begin{array}{l} n = 2k+1 \ldots\ A_{2k+1} = \frac{-A}{(2k+1)\pi} 2k\sin\frac{\pi}{2k}, \\ n = 2k-1 \ldots\ A_{2k-1} = \frac{A}{(2k-1)\pi} 2k\sin\frac{\pi}{2k}, \end{array}\right.$

. . . .

***

$$\text{pour } p = l \left\{ \begin{array}{l} n = 2kl+1 \ldots \quad A_{2kl+1} = \dfrac{A}{(2kl+1)\pi} 2k \sin \dfrac{\pi}{2k} \cos l\pi, \\ n = 2kl-1 \ldots \quad A_{(2kl-1)} = \dfrac{-A}{(2kl-1)\pi} 2k \sin \dfrac{\pi}{2k} \cos l\pi. \end{array} \right.$$

Nous trouverions de la même façon que tous les coefficients B_1, B_2, B_3, ..., B_n sont nuls. Il vient en définitive,

$$z = \frac{A}{\pi} 2k \sin \frac{\pi}{2k} \left[\sin x + \frac{1}{2k-1} \sin (2k-1)x - \frac{1}{2k+1} \sin (2k+1)x - \frac{1}{4k-1} \sin (4k-1)x + \frac{1}{4k+1} \sin (4k+1)x + \frac{1}{6k-1} \sin (6k-1)x - \frac{1}{6k+1} \sin (6k+1)x \ldots \ldots \right].$$

Le terme $\frac{A}{\pi} 2k \sin \frac{\pi}{2k}$ tend rapidement vers l'unité lorsque le nombre k augmente. En faisant $k=6$, comme dans l'exemple de la fig. 37, il vient

$$z = 0{,}998\, A \left(\sin x + \frac{1}{11} \sin 11x - \frac{1}{13} \sin 13x - \frac{1}{23} \sin 23x + \frac{1}{25} \sin 25x + \ldots \right).$$

Supposons maintenant que le circuit primaire P de l'appareil représenté par la fig. 37 soit alimenté par un courant alternatif de la fréquence α et que l'on fasse tourner le balai F autour de l'axe du système avec la vitesse α.

La force électromotrice développée dans chaque spire sera de la forme $e = e_0 \sin 2\pi\alpha t$. D'autre part, nous pourrons poser, en désignant par φ une constante ne dépendant que du calage initial du balai F, $x = 2\pi(\alpha t + \varphi)$. La loi suivant laquelle variera, en fonction du temps, le nombre de spires autour du noyau xy du circuit XY, aura pour expression, d'après ce qui vient d'être établi,

$$z = 0{,}998\, N \left[\sin 2\pi(\alpha t + \varphi) + \frac{1}{11} \sin 22\pi(\alpha t + \varphi) + \ldots \right]$$

et la force électromotrice développée dans ce circuit XY sera donnée par la formule

$$E = 0{,}998\, N e_0 \sin 2\pi\alpha t \left[\sin 2\pi(\alpha t + \varphi) + \frac{1}{11} \sin 22\pi(\alpha t + \varphi) + \ldots \right].$$

Elle renferme un terme constant : $\frac{0{,}998}{2} N e_0 \cos 2\pi\varphi$ (on devra caler le balai F de manière à avoir $\cos 2\pi\varphi = 1$).

A ce terme correspondra la production d'un courant continu dans le circuit XY. Quant aux autres, leur influence sera détruite par l'action de l'appareil régulateur introduit dans ce circuit.

Première observation. — Si l'intensité du courant primaire agissant sur le noyau xy est parfaitement sinusoïdale, et si l'action du régulateur de courant est assez énergique pour qu'on puisse considérer le courant qui traverse ce circuit comme rigoureusement continu, la somme algébrique des ampères-tours développés autour du noyau xy contiendra des termes tels que

$$0{,}998\, NA \left[\frac{1}{11} \sin 22\pi(\alpha t + \varphi) - \frac{1}{13} \sin 26\pi(\alpha t + \varphi) + \ldots \right].$$

Ces ampères-tours tendront à développer des flux parasites dans le noyau dont l'action sera en opposition avec celle des flux développés dans l'appareil régulateur du circuit XY.

Pendant qu'un des circuits secondaires sera mis en court-circuit par le balai F (fig. 37), des courants égaux et de signes contraires à ceux que nous venons de signaler prendront naissance à travers ce circuit et ces flux parasites n'auront qu'une intensité négligeable, mais au moment de la cessation de la mise en court-circuit, ils se développeront brusquement et tendront à établir le passage des courants locaux.

Il y aura donc production d'étincelles.

Pour les éviter, il faut réduire l'importance de ces flux parasites, de manière qu'ils ne

puissent développer de force électromotrice capable de déterminer une étincelle. On peut y arriver :

1° En donnant une grande valeur au nombre k, soit en sectionnant beaucoup le circuit secondaire du transformateur;

2° En diminuant la perméabilité magnétique du noyau xy;

3° En effectuant la commutation au moyen de plusieurs balais étagés, reliés entre eux par

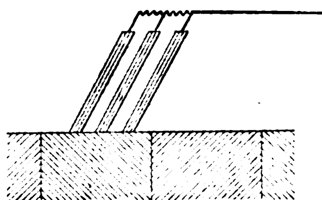


Fig. 39.

des résistances suivant la disposition représentée schématiquement sur la figure 39.

Deuxième observation.— La durée des mises en court-circuit opérées par le balai F devra être courte par rapport à leur temps de passage sur une touche du collecteur, toute variation de flux dans le noyau xy étant impossible pendant cette durée.

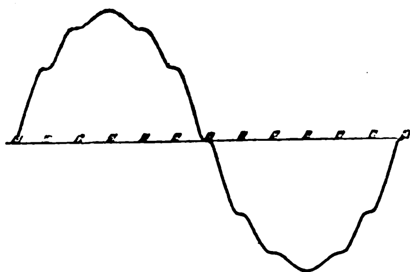


Fig. 40.

Si l'on représente par une courbe la loi de variation du flux développée dans le noyau xy elle pourra toujours affecter une forme sinusoïdale, mais elle sera caractérisée par l'existence de plats correspondant aux époques des mises en court-circuit, comme on le voit sur la figure 40.

Pendant la durée des mises en court-circuit, la somme algébrique des nombres d'ampères-tours passant dans le circuit primaire, dans les circuits secondaires intercalés dans le circuit XY, et dans le circuit secondaire fermé sur lui-même sera nulle.

L'intensité du courant développé dans le circuit secondaire fermé sur lui-même sera donc augmentée de celles du courant de fréquence α servant normalement à engendrer le flux utile dans le noyau xy et des courants de fréquences supérieures signalés plus haut. Il faudra en tenir compte dans la détermination de la section des conducteurs secondaires, et surtout dans celle de la surface de contact des balais qui devront laisser passer ce courant total.

Enfin, dans tout ce qui précède, nous avons supposé que l'intensité du courant primaire variait toujours suivant une loi rigoureusement sinusoïdale, quelle que fût la loi de variation des flux dans le noyau xy. Il ne faudra pas, pour que cette condition soit remplie, que le moteur synchrone chargé d'assurer la rotation du balai F (fig. 37) soit alimenté par un circuit secondaire enroulé sur le noyau xy. En effet, il tendrait à déterminer la loi des variations de flux dans le noyau en débitant le courant nécessaire, dont l'action viendrait à se superposer à celle du courant primaire. Ce moteur devra être alimenté par un transformateur spécial.

En tenant compte de ces observations, on peut réaliser un appareil susceptible de très bien fonctionner et très simple.

(*A suivre.*)

Maurice Leblanc.

DÉTERMINATION DIRECTE D'UN KILOHM ABSOLU [1]

III. — Description des appareils

Système inducteur. — Le système inducteur comprend :

1° Une bobine *b* ayant environ 10 cm de diamètre et 70 cm de longueur. Le fil qui la recouvre suit un sillon en hélice tracé sur un cylindre d'ébonite, cette hélice fait sensiblement 22 pas par centimètre ;

2° Une série B de sept bobines identiques entre elles portant chacune 200 spires, enroulées sur gorge hélicoïdale et occupant sur la génératrice une longueur d'environ 9 cm.

La distance qui sépare deux bobines consécutives de la série est de 70 cm.

Le noyau de la bobine principale est composé de deux demi-cylindres égaux adaptés l'un en regard de l'autre sur le milieu de la bobine *b* entièrement construite, on monte le système sur le tour et on procède à l'enroulement.

Les extrémités du fil de chacune des bobines B sont fixées à des bornes *aa* au moyen desquelles on effectue les groupements nécessaires.

En réalité ayant vérifié, par des comptages répétés au viseur, le nombre des spires enroulées, partagées au préalable en dix groupes, j'ai trouvé les résultats suivants : $B_0 = 200$, $B_1 = 200$, $B_2 = 199$, $B_3 = 200$, $B_4 = 199$, $B_5 = 200$, $B_6 = 201$.

Commutateurs. — 1° Le commutateur tournant, monté sur un socle de fonte de 25 cm de long et 20 cm de large, se compose de deux pièces identiques I, II (fig. 2) solidaires d'un même axe de rotation en acier supporté par deux paliers graisseurs *pp*.

La pièce I est constituée par trois bagues de laiton fixées sur un anneau d'ébonite de 94 mm de diamètre et de 45 mm d'épaisseur. Les bagues A et A' sont continues, la troisième, sertie dans l'ébonite, présente deux interruptions opposées : les parties conductrices ont environ 106 mm de longueur et les parties isolantes environ 42 mm.

Des balais *a*, *a'*, *b*, *b'*, engagés sous des

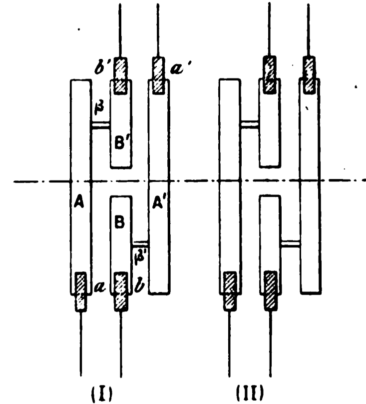


Fig. 2.

bornes fixées à des colonnettes d'ébonite, permettent d'intercaler les bagues dans les circuits intéressés.

Les traverses métalliques β et β' rendent électriquement solidaires les anneaux A et B' d'une part, A' et B d'autre part.

J'ai utilisé, soit des balais frottants formés par une lame de laiton, soit des balais roulants constitués par une petite roue *r* en bronze d'aluminium montée sur un axe d'acier tournant dans une fourche *f* placée à l'extrémité d'une tige *t* (fig. 3), soit enfin des balais formés par un faisceau de fils de cuivre.

Le commutateur reçoit son mouvement d'un moteur électrique à écran magnétique (fig. 8) [2] par l'intermédiaire d'une sorte de *joint Raffard* formant volant : deux plateaux de fonte sont calés en regard, l'un P (33 cm de diamètre) sur l'axe du moteur, l'autre P' (19 cm de diamètre) sur celui du commutateur ; ils portent respectivement six bras

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 5 août, p. 161.

[2] Ce moteur, établi d'après le plan de l'ingénieur-conseil Limb, docteur ès sciences, m'a été obligeamment prêté par la maison Gindre frères.

tels que *b, b*, espacés de 10 cm et distribués aux sommets d'un hexagone. Ces bras sont

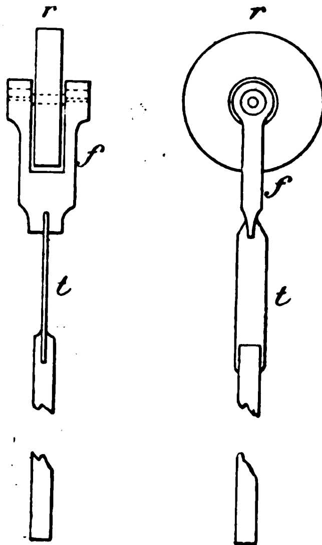


Fig. 3.

rendus relativement solidaires par des anneaux de caoutchouc.

En calant sur l'axe, sous un angle convenable, les deux cylindres I, II, le galvanomètre reçoit dans le même sens, la totalité des charges induites.

2° Désirant substituer les contacts *plongeants* aux contacts *frottants*, j'ai imaginé un petit commutateur, d'une construction économique et simple (fig. 4).

Sur un cylindre de buis, qu'une vis de serrage permet de fixer à l'axe du moteur, sont calés quatre paires d'excentriques E_1, E_2, E_3, E_4. Ces excentriques commandent respectivement les lames ressorts $e_1\ e_1$, $e_2\ e_2$, $e_3\ e_3$, $e_4\ e_4$, reliées aux bornes b_1, b_1 ; b_2, b_2 ; b_3, b_3 ; b_4, b_4.

Les vibrations des balais sont ainsi rendues impossibles.

Chacune des lames est munie à son extrémité libre d'une tige d'argent *c* périodiquement abaissée par le jeu de l'excentrique. Le contact *c* touche pendant le temps nécessaire, au mercure que contient un godet de verre *g* placé au-dessous de lui; pour éviter toute *pulvérisation* du mercure, il faut employer de larges godets.

Les groupes d'excentriques E_1, E_2 sont opposés; les groupes E_3, E_4, sont aussi à 180° l'un de l'autre, et respectivement à 90° de E_1 et de E_2.

Le fonctionnement du commutateur est facile à suivre : Soient α et β les projections

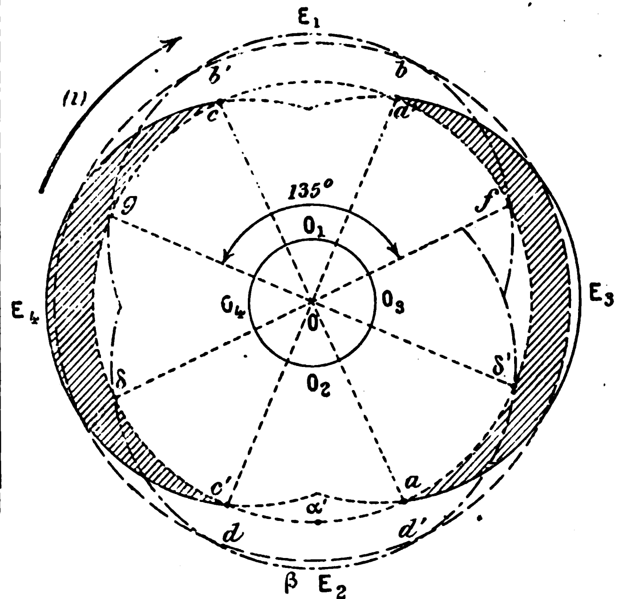


Fig. 4.

des contacts qui commandent respectivement les circuits induit et inducteur. Pendant que l'arc $E_2 d'$ défile devant β, le courant inducteur (2) est seul fermé, puis les circuits inducteur (2) et induit (3) sont simultanément fermés pendant le passage des éléments de profil $d'\delta'$, *ae*, le circuit inducteur (2) s'ouvre au passage de δ', le circuit (3) reçoit alors l'électricité induite par la suppression du courant (2). L'induit (3) reste seul fermé pendant le passage de *ef*. Lorsque *f* arrive en β, l'inducteur (1) s'établit, le circuit (3) reçoit donc l'électricité induite par l'établissement de (1). Au passage de *a'* l'induit (3) s'ouvre et (1) continue à être fermé jusqu'à l'arrivée de *g* en β ; comme le point *c* précède l'arrivée de *g*, le circuit (4) se ferme avant que le courant inducteur soit interrompu, le circuit (4) reçoit par suite l'électricité induite par la

suppression de (1). Enfin le circuit (4) reste fermé de c en c', il reçoit donc l'électricité induite à l'établissement de (2).

En résumé, le circuit (3) conduit au galvanomètre les quantités d'électricité induites par la suppression du courant (2) et par l'établissement du courant (1), tandis que le circuit (4) y conduit l'électricité induite à l'établissement de (2) et à la suppression de (1).

Il est facile, en établissant les connexions de s'assurer : 1° que les courants (1) et (2) traversent la bobine en sens opposés ; 2° que les circuits (3) et (4) diffèrent simplement par l'échange des points d'entrée et de sortie. Les divers courants induits par tour agissent par suite dans le même sens sur l'aiguille du galvanomètre.

Résistance (K) (fig. 5). — J'ai composé la résistance K de dix bobines ayant chacune

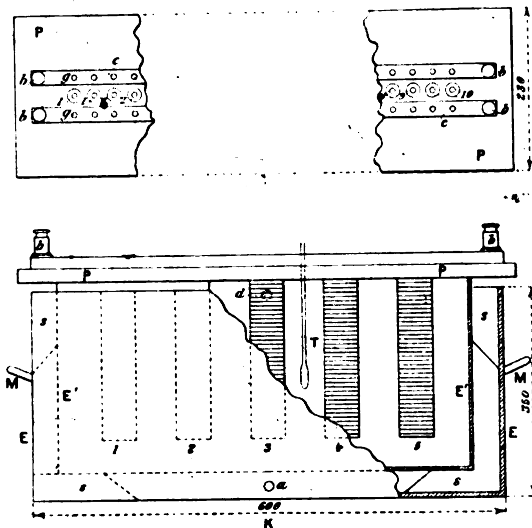


Fig. 5.

cent ohms environ. Le fil de maillechort employé $\left(\text{diam} = \frac{63}{100}\right)$ est bien isolé et enroulé en double sur des tubes de laiton, d'abord recouverts par une triple gaine de soie. Les bobines sont fixées à une épaisse planche d'ébonite PP et distribuées en deux rangées de 5. Les extrémités de chacune des bobines sont solidaires de godets à mercure distincts (numérotés 1, 1 ; 2, 2 ; 3, 3 ;... 10, 10).

Deux traverses de laiton *cc* portant des cavités g_1, g_2,... g_{10} permettent de grouper en série ou en dérivation, entre deux points, la totalité ou une partie seulement des bobines.

La planche PP ferme une auge étanche rectangulaire EE′, destinée à recevoir un pétrole, et repose sur les appuis *s* portés par une seconde auge de zinc EE munie de poignées MM.

Un courant d'eau peut circuler de *a* en *d* dans l'espace limité par les surfaces E, E′.

On voit en *bb* les bornes d'attache des fils destinés à mettre la boîte K en circuit.

Pendule et chronomètre. — Dans les mesures de temps je me suis servi d'un chronomètre Bréguet, d'un chronomètre Pierrelet et d'un pendule récemment conçu et réalisé par M. Lippmann. C'est un pendule entretenu électriquement *sans perturbation* dont le fonctionnement repose sur la proposition suivante [1] :

« Si deux impulsions égales sont imprimées au pendule en un même point de sa trajectoire, l'une à la montée et l'autre à la descente, les perturbations qu'elles produisent sont égales et de sens contraire. »

La perturbation totale est donc nulle, quand même les impulsions n'auraient pas lieu exactement au passage par la verticale.

J'ai satisfait aux conditions exigées par la théorie en produisant les impulsions au moyen des courants induits dus à la fermeture et à l'ouverture d'un circuit inducteur; le pendule ouvre et ferme successivement le circuit inducteur, lorsqu'il passe par la verticale à l'aller et au retour.

Voici le mécanisme d'entretien de l'un des pendules que j'ai construits et étudiés :

Un doigt triangulaire *i* (fig. 6) de faible masse est fixé par son centre de gravité sur le milieu d'un fil d'argent très fin tendu horizontalement. Il est relié au pendule SL

[1] Voir *Comptes rendus*, t. CXXII, séance du 13 janvier 1896.

par le fil de cocon *qd*. A l'aller, lorsque le pendule passe par la verticale en se rendant vers le doigt, celui-ci vient reposer sur une lame de platine α. Le circuit primaire dont les extrémités aboutissent aux deux pièces isolées *s*, α se trouve alors fermé. Le courant

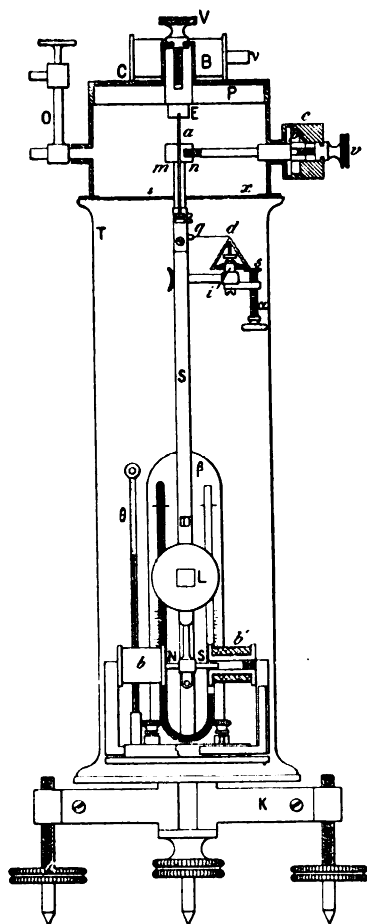


Fig. 6.

inducteur d'intensité I, développe, en s'établissant dans l'un des circuits d'un petit transformateur B, une quantité d'électricité KI qui s'écoule instantanément à travers la bobine *b* en produisant une impulsion attractive sur l'aimant NS solidaire du pendule. Au retour le pendule soulève le doigt *i* à l'instant où il repasse par la verticale, la quantité d'électricité KI induite à l'ouverture du courant inducteur, s'écoulant dans la bobine *b* en sens opposé à celui de l'électricité précédemment induite, produit une impulsion répulsive qui favorise encore le mouvement du pendule. Pour régler le contact on s'aide d'un téléphone intercalé dans le circuit inducteur ou dans le circuit induit. L'équidistance des tops indique que le courant inducteur est fermé et ouvert à l'instant des passages par la verticale. Pour une amplitude de quelques minutes les levées et les appuis du doigt *i* doivent se faire nettement. La vis α ou dans d'autres modèles, les vis calantes du trépied K qui supporte tout l'appareil permettent de régler le contact.

Pour faire fonctionner et régler l'appareil dans le vide (au cas où une absolue régularité de marche serait nécessaire) ou dans un gaz quelconque, il faut que l'on puisse agir sur la longueur du pendule sans introduire de l'air dans l'éprouvette. Comme les mouvements de réglage n'ont pas une grande amplitude, on satisfait à cette condition en commandant le pendule et l'étau de suspension par l'intermédiaire de membranes métalliques convenablement fixées et d'un jeu suffisant.

Le pendule représenté (fig. 6) fonctionne dans le vide, il est construit de la manière suivante : la lame de suspension a été fixée à l'extrémité pleine d'un écrou E soudé au milieu d'une membrane P dont les bords sont soudés aux parois du chapeau C. La vis V qui s'engage dans la partie supérieure de la pièce E permet de faire fléchir la membrane et, par suite, de déplacer le pendule d'environ 15 mm. Comme la lame passe entre les mâchoires *m*, *n*, d'un étau, il est facile en agissant sur la vis *v* qui déplace la pièce *n* de serrer le ressort a après en avoir fait varier micrométriquement la longueur utile. La vis *v* est montée sur la membrane *p* placée à l'intérieur de la boite latérale *c* comme la vis V sur la membrane P. Toutes les pièces précédentes sont portées par un chapeau métallique C dont le bord rodé *x* s'appuie sur la couronne terminale, également rodée d'une éprouvette T. On voit en *o* un robinet à pointeau, en β un baromètre tronqué et en θ un thermomètre.

Le procédé d'entretien par induction est très sûr parce qu'il réduit au minimum les organes mécaniques auxiliaires toujours sujets à dérangement. Il m'a paru le plus pratique des modes d'entretien que j'ai étudiés. Un seul élément Callaud du modèle ordinaire suffit à l'entretien et cela pendant plus d'un mois sans qu'on ait à ajouter du sulfate de cuivre.

Il importe de n'employer qu'un très faible courant. Il n'y a pas trace d'étincelle au contact, sauf dans le cas des contacts à mercure.

Le pendule se met en marche de lui-même dès que l'on ferme le circuit inducteur, et prend rapidement son amplitude de régime, que l'on gradue d'ailleurs *à volonté* en enfonçant plus ou moins le noyau de fer doux ν dans la bobine B. Il est facile de maintenir une amplitude de quelques minutes.

J'ai comparé le mouvement d'un pendule successivement libre et entretenu à celui d'un pendule auxiliaire approximativement synchrone du premier. Les oscillations des deux pendules s'inscrivaient, au début et à la fin de chaque phase d'observation (dont la durée était d'environ deux cents périodes) sur un cylindre maintenu en rotation uniforme au moyen d'un moteur électrique régularisé. Je me servais pour cela du moteur qui actionnait mon commutateur et la régulation était obtenue en maintenant fixe au moyen d'un frein le spot du galvanomètre. La durée d'une oscillation était représentée sur le cylindre par une longueur d'environ 1 m. Le rapport des périodes des deux pendules a été trouvé constant à 10^{-6} près, le pendule étudié étant libre ou entretenu. C'est la précision limite que le procédé de comparaison que j'ai employé me permettait d'atteindre.

Pour déterminer en fonction de la seconde la période du pendule employé, j'ai utilisé un chronomètre Bréguet préalablement vérifié par Leroy (équation + 1 sec.). En appliquant la méthode des passages composés à de longs intervalles de temps (plusieurs heures et même une journée), j'ai trouvé les valeurs suivantes, la température étant 13° entre le 31 octobre et le 6 novembre.

T = 1,19514 seconde du chronomètre.
1,19513
1,19513

Compteur de tours. — Le compteur de tours se compose d'un excentrique en ébonite calé sur l'axe du commutateur. Il ferme une fois par tour un circuit comprenant un élément Daniell E et un électro Déprez *e*. Un second circuit comprenant un élément E′ et un électro *e*′ est fermé par le pendule chaque fois qu'il passe par sa position d'équilibre en allant de gauche à droite.

Pour réaliser cette condition, j'ai construit un relai (fig. 8) formé d'une bobine B et d'un très petit aimant *b* fixé à l'extrémité d'une lame de clinquant *l*. Lorsque le pendule ferme le circuit inducteur qui l'alimente, le courant inducteur traverse la bobine B et repousse brusquement l'aimant *b* qui ferme en α le circuit E′ *e*′. Les déplacements de *b* sont imperceptibles. Les électros *e* et *e*′ inscrivent parallèlement sur un cylindre de Marey : le premier les tours effectués par le moteur, le second les battements du pendule.

Pour que l'inscription des tours commence au moment opportun, c'est-à-dire lorsque le régime d'équilibre est atteint, et pour obtenir en même temps une valeur déjà approchée de ν, j'ai associé un chronomètre Pierrelet et un compteur de tours ordinaire. Dès que l'on retire la cheville d'arrêt *m*, les ressorts *r r* mettent brusquement aux prises en *n c* les axes du commutateur et du compteur. En temps le chronomètre C_2 est mis automatiquement en marche : les ressorts *r* entraînent par l'intermédiaire de l'étrier *d* la fourche qui commande le mouvement. Lorsqu'on veut mettre fin à l'expérience, on tire sur l'étrier *d* : le circuit *eE* se trouve immédiatement coupé et la fourche arrête au même moment le chronomètre ; on remet en place la cheville *m* et on fait la lecture du comptetours et du chronomètre. Comme les engrenages du compteur ne peuvent pas acquérir

de vitesse, on peut monter un disque f et un index permettant d'apprécier la fraction de tour.

Le véritable nombre v est déduit de l'inscription simultanée des tours et des battements du pendule. Le cylindre enregistreur reçoit son mouvement du moteur électrique, chaque seconde correspond à environ 1 m et l'inscription dure au moins huit secondes. Si l'on veut augmenter la longueur qui correspond à une seconde, on réduit moins sur le cylindre la vitesse du moteur.

Galvanomètre. — Je me suis servi d'un galvanomètre Thomson à quatre bobines construit par Bréguet. Chaque bobine porte deux fils indépendants enroulés parallèlement (fig. 7).

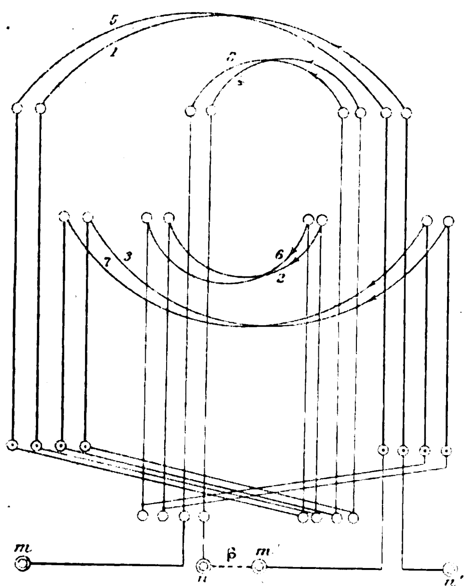


Fig. 7.

Numérotons 1,5 ; 4,8 les fils relatifs aux bobines supérieures fixées en regard, et 3,7 ; 2,6 les fils correspondants des bobines inférieures.

Les deux circuits du galvanomètre différentiel ont environ 60 ω de résistance et comprennent respectivement les fils 1, 2, 3, 4 ; 5, 6, 7, 8. On voit que la disposition de l'appareil présente la plus grande symétrie possible par rapport aux deux systèmes d'aiguilles aimantées. La position de l'aimant-directeur est réglée de façon à rendre la sensibilité du galvanomètre au moins égale à celle qu'impose l'erreur relative tolérée sur la mesure. Il est inutile et incommode d'exagérer la sensibilité. Dans mes expériences le galvanomètre accusait nettement $\frac{1}{12000}$ de la grandeur à mesurer.

Électrodynamomètre. — J'ai construit un électrodynamomètre différentiel très amorti pouvant rendre de grands services mais qui s'est trouvé d'une sensibilité insuffisante pour mon cas.

Boîte auxiliaire. — J'ai eu à comparer des résistances R et R' très différentes.

On peut obtenir avec précision un tel rapport si l'on possède une boîte comprenant n résistances r identiques et indépendantes. Les valeurs n et r étant choisies de façon à vérifier les égalités :

$$R = nr \text{ (mise en série des résistances } r\text{)} \quad (1)$$

$$R' = \frac{r}{n} \text{ (mise en parallèles des résistances } r\text{)} \quad (2)$$

on a

$$\frac{R}{R'} = n^2$$

Pour $R = 2 \times 10^5\ \omega$ et $R' = 2 \times 10^2\ \omega$, on satisfait approximativement aux équations (1) et (2) en prenant :

$$n = 32 \text{ et } r = 6 \times 10^3\ \omega.$$

Pour déterminer le rapport de deux résistances de l'ordre de R et de R', j'ai construit une boîte d'environ 200 000 ohms contenant 32 bobines semblables. Pour enrouler le fil sur les noyaux de buis des bobines, il est commode de l'enrouler d'abord sur un cylindre de Marey muni d'une aiguille permettant d'en estimer la rotation et de déterminer par une opération préliminaire, le nombre de tours entier ou fractionnaire qui correspond à la charge en fil que doit recevoir une bobine.

Les bobines ainsi préparées sont vissées sur des tiges métalliques, disposées en ligne droite, sur l'une des faces d'un plateau d'é-

****

bonite dont l'autre face porte, d'une part 64 godets à mercure auxquels aboutissent respectivement les extrémités des bobines, et d'autre part deux barres métalliques disposées parallèlement, percées chacune de 32 cavités équidistantes permettant la mise en parallèles. Les groupements sont faciles à réaliser au moyen de ponts tels que *a*, il en faut 33 pour la mise en série et 64 pour la mise en parallèles.

La comparaison des diverses bobines à l'une d'elles *r* donne

$$r_1 = a_1 r; \quad r_2 = a_2 r; \quad \ldots\ldots \text{ etc.}$$

On a par suite

$$R_1 = (1 + a_1 + a_2 + \ldots\ldots)(r) = A(r) \text{ (série)}$$

et

$$R'_1 = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \ldots\ldots\right)}(r) = B(r).$$

D'autre part l'expérience donne encore, en comparant les résistances R et R' dont on cherche le rapport aux résistances du même ordre R_1 et R_1' :

$$\frac{R}{R_1} = c; \quad \frac{R'}{R'_1} = d.$$

En conséquence,

$$\frac{R}{R'} \cdot \frac{R'_1}{R_1} = \frac{c}{d},$$

donc

$$\frac{R}{R'} = \frac{c}{d} \cdot \frac{R_1}{R'_1} = \frac{c}{d} \cdot \frac{A}{B}$$

(*A suivre.*)

A. Guillet.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Interrupteur Thomson-Houston pour réseaux de distribution à trois fils (1).

Lorsque, dans un réseau à trois fils dont le conducteur neutre est relié au sel, il se produit une terre sur l'un des conducteurs extrêmes, les appareils récepteurs intercalés sur le pont dont ne fait pas partie ce conducteur se trouvent traversés momentanément par un courant trop intense, qui peut les mettre hors d'usage avant que l'interrupteur principal n'ait fonctionné. Le dispositif indiqué schématiquement par la figure 1 a pour but de remédier à cet inconvénient.

A est la dynamo génératrice ; en B et C les égalisateurs de tension des deux ponts ; en I l'interrupteur principal dont il s'agit de provoquer un prompt fonctionnement quand un quelconque des conducteurs extrêmes se trouve accidentellement mis à la terre. Cet interrupteur représenté en détail à droite de la figure 2 est constitué essentiellement par un pont à lames métalliques *m* fortement appli-

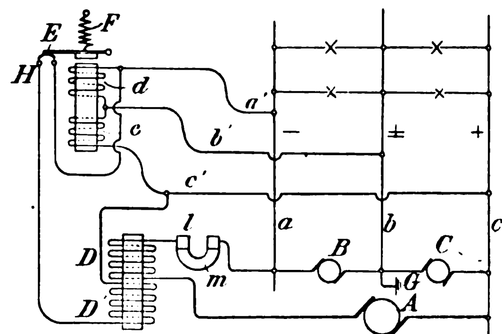


Fig. 1. — Schéma du dispositif Thomson-Houston pour mettre en action l'interrupteur d'un réseau à trois fils.

qué contre les plots *n* par un levier à rotule *p*. Celui-ci est maintenu dans la position de fermeture, malgré l'action du ressort *p'* qui tend à rompre le circuit, par une butée *o* s'appuyant sur l'extrémité d'un levier OK dont

(1) Brevet anglais, n° 19940, déposé le 20 septembre 1898, accepté le 7 janvier 1899.

une partie forme l'armature d'un double électro-aimant DD′ (fig. 3). L'une des bobines D de cet électro-aimant est parcourue par le courant principal; l'autre D′ peut être mise en

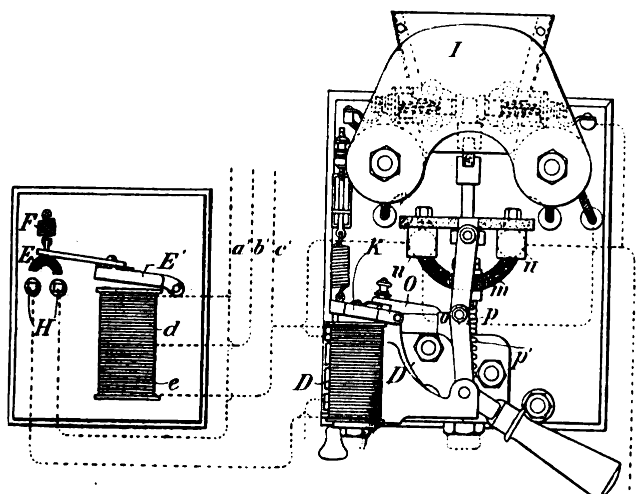


Fig. 2. — Ensemble de l'interrupteur principal et du conjoncteur.

dérivation entre les conducteurs extrêmes *q* et *c* par l'interrupteur ou plutôt le conjoncteur H. Ce conjoncteur est aussi constitué par un pont métallique E qu'un ressort F

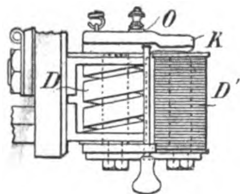


Fig. 3. — Détail de l'interrupteur principal.

maintient écarté des plots H H. Le contact des extrémités du pont et des plots est produit par l'excitation d'un électroaimant portant deux enroulements *d* et *e*, de sens inverses et en dérivation sur chacun des ponts par les conducteurs *a′b′c′*.

Quand le réseau fonctionne normalement les effets des deux enroulements *d* et *e* sur le noyau de l'électro-aimant se compensent et le pont E reste écarté des plots HH. Si une terre vient à se produire sur l'un quelconque des conducteurs extrêmes *a* et *c* la différence de potentiel entre les extrémités de l'un de ces enroulements (celui qui communique avec le conducteur extrême mis à la terre) devient nulle ou en tout cas très faible, tandis que la différence du potentiel entre les extrémités de l'autre enroulement se trouve au contraire augmentée. Les effets des deux enroulements ne se compensant plus, l'armature F′ est attirée, et le circuit de la bobine D′ de l'électro-aimant de l'interrupteur principal se trouve fermé. L'action de cette bobine s'ajoutant à celle de la bobine en série D, l'armature K se trouve attirée malgré le ressort antagoniste, l'extrémité du levier OK dégage, en se soulevant, la butée *o* et le pont *m* est violemment séparé du plot *n* par le ressort *p′*. J. R.

Téléphonie duplex sur les lignes interurbaines allemandes;

Par SCHWENSKY [1].

Tout accroissement dans le trafic téléphonique entre deux localités crée beaucoup plus de difficultés qu'un accroissement comparable dans le trafic télégraphique. Il est en effet facile d'augmenter dans des proportions assez notables le rendement d'une ligne télégraphique simplement en changeant les appareils, en remplaçant, par exemple, des appareils Morse par des appareils Hughes. En téléphonie on ne peut recourir à cet expédient et il est indispensable pour satisfaire aux exigences du trafic, d'augmenter le nombre des lignes reliant les deux localités ainsi que le nombre des appareils. Étant donné la nécessité d'employer des lignes téléphoniques à circuit entièrement métallique, celle de prendre des fils de cuivre ou de bronze, plus coûteux que les fils de fer utilisés en télégraphie, et enfin le prix élevé des appareils téléphoniques, cette solution entraîne une dépense assez considérable et souvent la prévision de cette dépense a cette conséquence que l'administration cherche à entraver l'augmentation du nombre des communications téléphoniques. Aussi,

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XIX, p. 853.

l'auteur, inspecteur du service téléphonique allemand, s'étonne-t-il que le système duplex n'ait pas reçu en téléphonie plus d'extension.

Les premiers essais dans cette voie remontent cependant à quinze ans. On employa tout d'abord la disposition très simple représentée par la figure 1, disposition qui n'est autre que

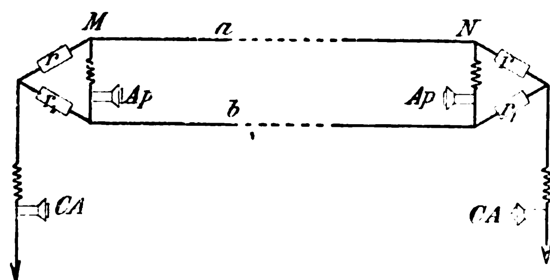


Fig. 1. — Dispositif simple de téléphonie Duplex.

celle d'un double pont de Wheatstone. A chaque extrémité du double circuit métallique MN on dispose un premier appareil Ap en dérivation, puis des résistances $r\,r_1$, reliées au second appareil CA, lequel est lui-même relié au sol. Les courants téléphoniques passent de l'un à l'autre des appareils Ap comme à l'ordinaire, tandis que ceux qui doivent aller de l'un à l'autre des appareils CA empruntent, d'une part, les deux fils parallèles a et b et, d'autre part, la terre. On sait que le rapport $\frac{r}{r_1}$ des deux résistances doit être égal au rapport $\frac{a}{b}$ des résistances des deux fils a et b pour que les courants destinés aux appareils CA n'influencent pas les appareils Ap. Pratiquement, les deux résistances r et r_1 sont égales entre elles, les résistances des deux conducteurs a et b étant elles-mêmes sensiblement égales.

Mais ce dispositif ne donna pas de résultats satisfaisants. Les communications entre les appareils CA étaient rendues peu nettes par les courants résultant de la différence de potentiel variable des deux circuits reliés au sol ainsi que des défauts d'isolement des deux fils parallèles ; en outre, les courants amenés à l'une ou l'autre station par les lignes locales à un seul fil qui y aboutissaient influençaient d'une manière fâcheuse la transmission interurbaine. Pour éviter ces inconvénients, on songea à utiliser comme circuit de retour pour les appareils CA une seconde ligne à double fil. Cette disposition, représentée dans la figure 2 évite l'emploi de connections au

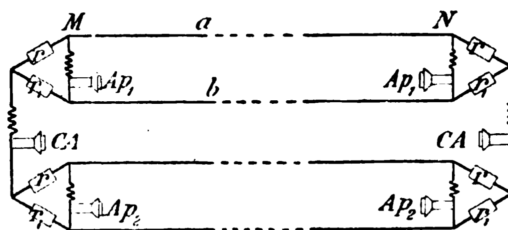


Fig. 2. — Autre dispositif de téléphonie Duplex.

sol et par conséquent les perturbations qui en résultent. Toutefois elle ne donne pas non plus de bons résultats pratiques. L'une des principales causes de ceci est que quand les valeurs des résistances r et r_1 conviennent bien pour une bonne communication entre les appareils Ap, elles ne conviennent pas pour une bonne communication entre les appareils CA et vice versa. Une fraction seulement du courant arrivant en M ou N traverse l'appareil Ap, tandis que le reste passe par le shunt formé par r_1 et r_2 ; comme les résistances r_1 et r_2 sont non inductives tandis le récepteur ou la bobine d'induction des postes Ap_1 ont une self-induction considérable s'opposant au passage des courants téléphoniques, il faut, pour que la fraction de courant traversant ces appareils soit suffisante, que les résistances r et r_1 soient considérables. D'autre part il faut, pour éviter le mélange des conversations échangées simultanément au moyen des appareils Ap, d'une part, et au moyen des appareils CA de l'autre, que les deux côtés a et b du circuit métallique soient, aux points où les appareils CA sont branchés, dans le même état électrique; comme par suite de défauts d'isolement ou de causes locales l'état électrique de la ligne varie considérablement on est conduit à donner aux résistances r et r_1 des valeurs élevées pour atténuer les effets de ces variations. Or, si ces résistances sont grandes, le circuit des appareils CA est trop résistant pour donner une bonne transmis-

sion. On a trouvé qu'il fallait pratiquement que chacune des huit résistances r, r_1 soit d'au moins 1 000 ohms. Il est vrai que les huit résistances ne sont pas en série, mais forment deux groupes en dérivation de quatre bobines en série et que la résistance de la ligne entre les appareils CA n'est que la moitié de celle de la ligne des appareils A*p*. Malgré cela, la résistance totale est encore trop grande. De plus, la disposition indiquée offre l'inconvénient que les perturbations engendrées dans chacun des fils *a* et *b* s'ajoutent au lieu de se contrarier. On essaya bien, dans le but d'y remédier, de relier les postes au moyen de translateurs, mais cet artifice ne donna pas de meilleurs résultats : les conversations entre les appareils CA étaient toujours entendues dans le circuit métallique pour des raisons qui sont indiquées plus loin.

Un progrès considérable fut réalisé en 1885 par le conseiller privé Elsasser [1] qui substitua aux connections directes des dispositions précédentes des électro-aimants enroulés en différentiels (fig. 3). On employait pour

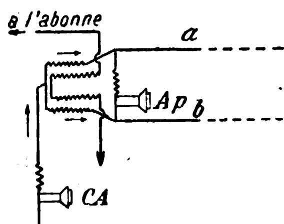


Fig. 3. — Système Elsasser.

cet usage un translateur ordinaire consistant en deux noyaux sur chacun desquels étaient enroulés un enroulement primaire et un enroulement secondaire bifilaires. Par cette disposition la distribution du courant était meilleure pour le circuit métallique puisque les shunts des transmetteurs et recepteurs (les deux enroulements des translateurs en série) avaient alors une très grande résistance apparente. D'autre part, les courants des appareils CA, également divisés entre les deux enroulements secondaires du translateur aimantaient le fer dans des sens opposés, de sorte que, théoriquement du moins, le noyau ne pouvait être polarisé par ces courants et que les bobines ne pouvaient agit sur les courants que comme des résistances non inductives. Pour la même raison ces courants ne pouvaient en induire d'autres dans l'enroulement primaire où dans les lignes d'abonnés qui lui étaient connectées. Toutefois tous ces avantages ne furent pas réalisés en pratique : à cause de la longueur du noyau de fer, les courants provenant de CA aimantaient ce noyau malgré l'opposition des enroulements secondaires. Ces enroulements agissaient alors comme des bobines de réactance et diminuaient l'intensité des courants de CA. En outre, par suite de la capacité entre les enroulements primaire et secondaire du translateur, la balance électrique du circuit métallique se trouvait rompue et des mélanges se produisaient entre A*p* et CA. En effet, les deux moitiés de l'enroulement primaire étant en série et connectés l'un à la terre l'autre à la ligne d'abonnés, la branche dont l'enroulement primaire était connectée à la terre avait une capacité plus grande que l'autre et les courants de CA ne se divisaient pas également entre les deux branches du translateur. Par suite les deux points de connection de l'appareil A*p* ne prenaient pas le même potentiel et les paroles prononcées devant le transmetteur de CA étaient entendues dans les récepteurs de A*p*. En complétant le circuit de l'appareil CA par une seconde ligne métallique comme dans la figure 2 le mélange se trouvait atténué mais non complètement éliminé.

Plus tard la capacité entre les enroulements primaire et secondaire du translateur qui, pour d'autres raisons encore, est une cause de perturbation, fut pratiquement réduite à zéro par une modification de construction. Dès lors aussi bien en Allemagne qu'à l'étranger la téléphonie duplex devint à l'ordre du jour. Un dispositif employé assez souvent aux États-Unis, en Angleterre et dans les pays

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1885, p. 283 et 284.

scandinaves consiste à relier la connexion supplémentaire des milieux des enroulements des quatre translateurs à deux circuits métalliques, ou si l'on n'emploie pas de translateurs, à relier les enroulements des bobines d'impédance en sens inverse aux deux circuits. La capacité entre les enroulements primaire et secondaire du translateur est évitée en abandonnant la méthode d'enroulement bifilaire ; on enroule tout d'abord le circuit primaire puis le circuit secondaire. Les enroulements secondaires sont bifilaires et l'on prend soin que leur résistance et leur nombre de tours soient aussi égaux que possible. La fin d'un enroulement et le commencement de l'autre sont reliés à une borne qui est aussi connectée à l'appareil CA (fig. 4). Les autres

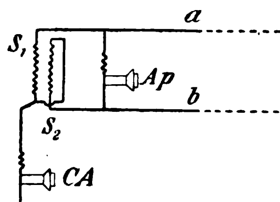


Fig. 4. — Système américain.

extrémités du circuit secondaire sont reliées aux deux fils du circuit comme le montre la figure.

Mais si les inconvénients du translateur à deux branches se trouvent presque entièrement éliminés par cette construction, un nouvel inconvénient se trouve introduit. Comme il a été dit plus haut il convient que les résistance r, r_1 soient aussi grandes que possible. En construisant l'enroulement secondaire on ne prit aucun soin pour satisfaire à cette condition. En effet comme les deux moitiés de cet enroulement sont bifilaires et par conséquent adjacentes elles présentent l'une par rapport à l'autre une capacité non négligeable. Les courants ondulatoires de l'appareil A*p* se trouvent, par conséquent, transmis d'une moitié à l'autre de l'enroulement sans circuler dans tous les tours du fil. Ceci diminue d'une façon très appréciable la résistance apparente de la bobine aux courants téléphoniques et nuit au bon fonctionnement de l'instrument placé sur la ligne métallique. C'est à cette circonstance que l'on doit attribuer la distance relativement faible (environ 80 kilomètres) au delà de laquelle la téléphonie duplex cesse d'être employée en Angleterre. Des résultats pas plus satisfaisants paraissent avoir été obtenus en Suède avec un modèle de bobines récemment adopté et dans lequel une moitié de l'enroulement est formée par les couches impaires et l'autre par les couches paires du fil. Dans ce cas, outre que la capacité entre les couches contiguës se manifeste même si les deux fils sont chargés par le milieu des couches, on ne peut arriver à compenser complètement l'aimantation produite par les enroulements.

Dans de plus récents essais faits en Allemagne, on n'employa ni l'enroulement bifilaire ni l'enroulement suédois pour la confection des bobines secondaires. La division de l'enroulement secondaire en deux bobines d'un même nombre de tours et de même résistance placées l'une à côté de l'autre sur le noyau de fer ne donna pas de bons résultats, car les courants qui les traversaient dans les directions opposées aimantaient le fer et donnaient lieu à un pôle entre les deux bobines. En plaçant les bobines l'une sur l'autre, on ne réussit pas mieux pour des raisons déjà indiquées. Sur la proposition de l'auteur l'enroulement secondaire fut divisé en quatre bobines, deux internes et deux externes et la bobine interne d'une extrémité fut connectée en série avec la bobine externe de l'autre extrémité. Ce dispositif réussit parfaitement. Comme l'accroissement du nombre des tours du circuit secondaire accroissait nécessairement la self-induction, l'emploi de la bobine comme translateur ne pouvait donner de bons résultats, aussi ne l'employa-t-on pas dans ce but et supprima-t-on l'enroulement primaire.

Ces bobines duplex sont identiques comme construction du noyau et de la monture de fer et comme diamètre de fil aux nouveaux translateurs de l'Administration des Postes

allemandes. Chacune des quatre bobines a environ 1 900 tours ; les connexions entre les extrémités de chaque bobine externe et le commencement de chaque bobine interne sont faites comme l'indique la figure 5. Normale-

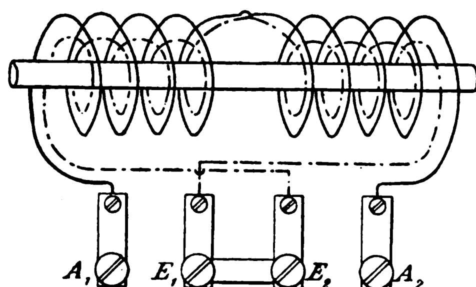


Fig. 5. — Bobine à quatre enroulements système Schwensky.

ment les bornes E_1 et E_2 sont reliées par une lame métallique et la seconde connexion téléphonique est faite sur cette lame ; les bornes A_1 et A_2 sont reliées à la ligne. Il n'y a pas de mise à la terre et les connexions de l'ensemble du système sont effectuées comme le montre la figure 6. Pour éviter les perturba-

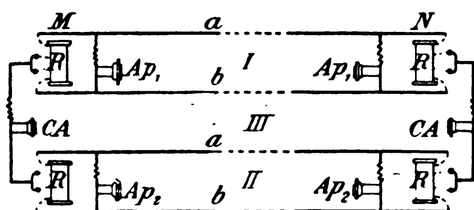


Fig. 6. — Ensemble du système Schwensky.

tions dues aux courants terrestres et à l'induction mutuelle, les deux paires de lignes sont supportées par les mêmes poteaux. S'il en était autrement des perturbations se produiraient comme dans le cas où le circuit d'aller et le circuit de retour d'une ligne téléphonique ordinaire se trouvent à une distance considérable l'un de l'autre. Il n'est pas indispensable que les deux lignes métalliques aient la même résistance. La téléphonie en duplex a en effet été réalisée sans difficulté avec deux lignes doubles formées de fils ayant respectivement 2 et 3 mm de diamètre. Nécessairement il ne peut y avoir dans ce cas balance électrique entre le conducteur d'aller et le conducteur de retour. Néanmoins il ne peut se produire de mélange de conversations par les poteaux puisque les circuits sont entièrement métalliques. Il peut quelquefois arriver que deux paires de lignes mises en duplex avec conducteurs inégalement chargés produisent l'une sur l'autre des perturbations si l'arrangement des fils sur les poteaux se trouve dans des conditions défavorables ; mais il a toujours été possible d'éviter cet inconvénient sans difficulté. Comme deux lignes de même longueur et construites avec le même matériel ont sensiblement la même résistance il est inutile d'ajuster avec soin les deux enroulements de la bobine de résistance ; si l'une des moitiés a une plus grande résistance que l'autre elle est connectée au fil de ligne qui a lui-même la plus grande résistance. Ceci diminue l'effet perturbateur du courant d'appel, courant d'appel qui est toujours continu dans le système téléphonique allemand. Mais d'un autre côté on mesure avec soin la résistance apparente des bobines pour les courants alternatifs, et on rejette toutes celles dont les enroulements présentent une différence de résistance de plus de 1/2 p. 100.

On ne s'est pas arrêté au cas simple indiqué par la figure 6. On a relié les bornes E_1 E_2 des bobines en M ou N à une autre ligne métallique, allant soit de M à L, soit de N à O (fig. 7). Ce dispositif a été employé

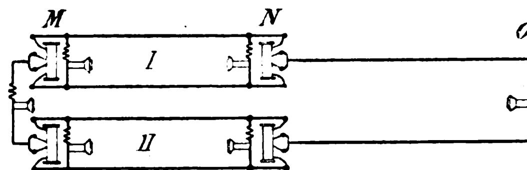


Fig. 7.

avec succès sur les lignes Berlin-Breslau-Haute-Silésie, Berlin-Cologne-Province du Rhin, Berlin-Francfort-Alsace, Berlin-Stettin-Rügen et Berlin-Dresde-Chemnitz. Les deux lignes peuvent également être prolongées, comme le montre la figure 8, ou bien une nouvelle station indépendante peut être ajou-

tée entre M et N. La disposition générale devient un peu moins simple quand l'exten-

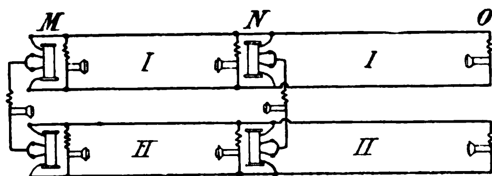


Fig. 8.

sion est faite sur une seule des lignes ou sur les deux, mais dans une direction différente. On doit alors essayer dans chaque cas si le prolongement peut être fait directement, comme en figure 8, ou si l'on doit insérer un

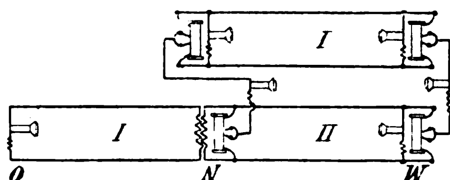


Fig. 9.

translateur, comme en figures 9 et 10, pour éviter des perturbations dans le circuit inter-

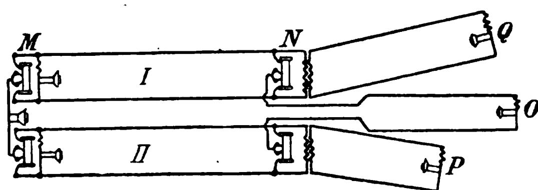


Fig. 10.

médiaire. En général le translateur est nécessaire seulement quand le prolongement a une longueur considérable. L'insertion du translateur diminue nécessairement la netteté de la communication entre M et Q ou M et P, car dans le service téléphonique allemand les lignes d'abonnés en M, P, Q sont à simple fil et sont aussi reliées par translateurs aux lignes interurbaines. Lorsque les réseaux urbains sont à lignes entièrement métalliques, l'emploi du translateur n'a aucun inconvénient. La figure 10 montre un dispositif permettant d'étendre le circuit intermédiaire de M à L et de N à O.

S'il y a des postes intermédiaires sur les lignes employées en duplex, les connexions doivent être faites de telle sorte que, pendant que la ligne est utilisée par un poste intermédiaire et divisée dans ce but en deux lignes à l'ouest et à l'est de ce poste, une connexion reste cependant pour le circuit total. Sur la proposition de l'auteur, on a adopté le dispositif dont la figure 11 indique l'ensemble et

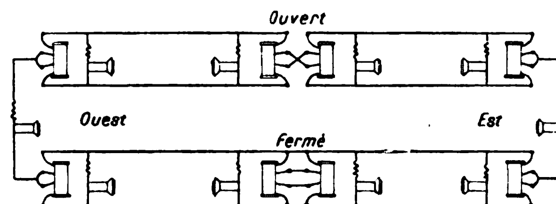


Fig. 11. — Système Schwensky avec poste intermédiaire.

dont la figure 12 montre les détails des connexions au poste intermédiaire. Les fils des lignes est et ouest sont reliés d'une façon permanente aux quatre extrémités des enrou-

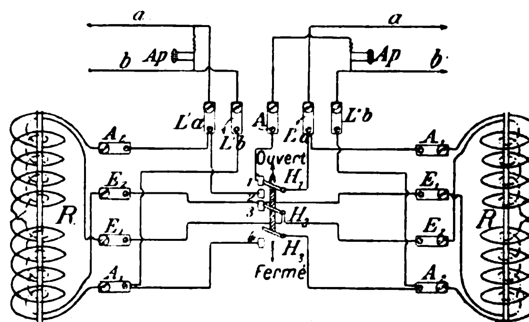


Fig. 12. — Connexions du poste intermédiaire.

tement des deux bobines duplex. De chaque borne E d'une bobine part un fil aboutissant à la borne E de l'enroulement de la seconde bobine qui est reliée avec le circuit correspondant de l'autre côté; les lames métalliques reliant ordinairement les bornes E_1 E_2 de chaque bobine sont alors enlevées. Pour passer de la position « fermé » à la position « ouvert » pour laquelle le poste intermédiaire peut entrer en communication, on emploie un commutateur H_1 H_2 H_3. Dans la position « fermé », H_1 est sur le plot 2 et H_3 sur le plot 4, de sorte que l'on a une communica-

tion directe entre les côtés est et ouest des lignes. Les bobines $A_1 E_1$ d'un côté et les bobines $E_2 A_2$ de l'autre côté, connectées en série, sont, comme on le voit, mises en court circuit et hors du circuit parcouru par le courant. L'appareil d'appel et l'appareil transmetteur d'une portion de la ligne sont reliés en dérivation à la ligne de manière à recevoir le signal d'appel, tandis que les appareils semblables placés de l'autre côté, reliés au contact 1, ne sont pas en série. Quand le commutateur est placé sur la position « ouvert », la connexion directe entre les côtés est et ouest est rompue, H_1 connecte le second appareil du poste intermédiaire avec la ligne correspondante, et H_2 connecte les 4 bornes E des bobines au plot 3; il en résulte une connexion entre les circuits aboutissant aux deux points extrêmes et la conversation peut continuer sans interruption entre ces deux stations, bien qu'en même temps le poste intermédiaire puisse communiquer soit à l'est, soit à l'ouest. Aucun mélange ne peut se produire entre les deux côtés, car ceux-ci sont reliés l'un à l'autre seulement en un point neutre. En outre, les courants des circuits circulent dans des directions opposées autour des deux bobines, de telle sorte que celles-ci n'ont qu'une faible self-induction, et que l'effet des connexions est seulement d'augmenter la résistance du circuit d'une centaine d'ohms. Le plot 3 du commutateur est un peu plus long que les plots 1, 2 et 4, de telle sorte que quand on met le commutateur sur la position « ouvert », le bras H_2 prend contact avec 3 avant que les contacts de H_1 avec 2 et de H_3 avec 4 soient rompus.

Pour l'instant, la téléphonie en duplex est employée entre :

	Km.
Berlin et Cologne	630
Berlin et Francfort-sur-Main	575
Berlin et Breslau	345
Berlin et Hambourg	300
Hambourg et Magdebourg	235
Berlin et Dresde (avec extension jusqu'à Chemnitz, la distance Berlin-Chemnitz est de 260 km)	188
Berlin et Leipzig	182
Berlin et Magdebourg	171
Hambourg et Hanovre (avec poste intermédiaire sur une des lignes)	164
Berlin et Stettin	162
Brême et Hanovre (avec poste intermédiaire à Verden et Nienburg sur une des lignes)	121
Leipzig et Dresde	114
Brême et Hambourg	114
Francfort et Mannheim	87
Halle et Magdebourg	84
Hambourg et Lubeck (avec poste intermédiaire à Oldesloe sur une des lignes)	12
Halle et Leipzig (avec poste intermédiaire à Schkenditz sur une des lignes)	35
Maintz et Wiesbaden	12
Dresde et Loschvitz	7

Les résultats obtenus sur ces différentes lignes ont été très satisfaisants et un semblable système sera adopté sur un grand nombre d'autres lignes.

En terminant, l'auteur fait remarquer que l'emploi de ces dispositifs n'est pas nécessairement limité à la téléphonie. Avec quelques petites modifications, ils peuvent être adoptés pour la télégraphie et la téléphonie simultanées. Dans ce cas une ligne à un seul circuit métallique suffit, l'appareil télégraphique étant relié entre le centre de la bobine et la terre. Lorsque, comme cela arrive avec les appareils Hughes, on emploie des courants télégraphiques courts, mais intenses, il est indispensable de les atténuer au moyen d'une bobine de réactance et d'un condensateur, car autrement ils produiraient des bruits dans le circuit téléphonique. On peut obtenir le même résultat en changeant la connexion avec la bobine de réactance, de telle sorte que de chaque côté du milieu des enroulements il y ait un enroulement interne et un enroulement externe connectés en série; chaque moitié de l'enroulement agit alors comme une simple bobine d'inductance. Les appareils Hughes sont employés avec succès sur des lignes téléphoniques à circuit métallique entre Berlin et Francfort-Main et entre Ber-

lin et Vienne. Sur la ligne téléphonique Berlin-Francfort, on a fait un intéressant essai en employant un appareil Hughes non pas sur un circuit métallique ordinaire, mais comme l'indique la figure 6 avec deux circuits métalliques doubles. Les résultats obtenus montrèrent qu'avec un bon isolement, cette disposition convenait fort bien pour un service regulier. Mais il est difficile de maintenir un bon isolement sur les quatre fils, et on trouva qu'avec une perte quelque peu importante, il y avait une telle différence entre les valeurs des courants transmis et reçus, que l'appareil Hughes ne pouvait fonctionner. Le fonctionnement de l'appareil Morse put être maintenu plus longtemps, car quand des défauts d'isolement se produisent, les signaux Morse ne donnent pas lieu à des perturbations aussi grandes que les signaux Hughes dans les lignes téléphoniques. E. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur la structure des rayons cathodiques et la nature des rayons de Lenard;

Par E. GOLDSTEIN (¹).

J'ai montré, dans des mémoires antérieurs, que la lumière cathodique des décharges induites n'est pas homogène, mais se compose de trois sortes de lumière, de propriétés différentes et qui se pénètrent l'une l'autre. A ces trois espèces de lumières correspondent ce qu'on appelle les trois couches de lumière cathodique. La première et la seconde couches sont formées par des rayons rectilignes émanés de la cathode, qui traversent la troisième couche. En ce qui concerne la lumière de la troisième couche, on a démontré qu'elle peut se propager à travers des espaces étendus, situés au delà d'une courbure du tube à décharges et même qu'elle peut contourner des angles pour atteindre des points qu'il est impossible de rejoindre, soit à la cathode, soit à la limite postérieure de la troisième couche par des lignes droites ne sortant pas de l'espace raréfié. Les corps solides placés sur le trajet de la lumière de la deuxième couche projettent une ombre qui est remplie par la lumière de la troisième : si ces corps sont disposés, en dehors du faisceau de la deuxième, seulement dans la lumière de la troisième, celle-ci les enveloppe et on n'observe aucune ombre.

(¹) *Wied. Ann.*, t. LXVII, p. 84-94; 1899 (trad. *in ext.*).

Dans ce qui suit, je désignerai pour abréger par lumière ou rayons K_3 et K_2 respectivement la lumière de la troisième et de la deuxième couches.

En poursuivant les recherches que j'ai publiées en 1892, je fus surpris que dans des tubes courbés, comme celui de la figure 1,

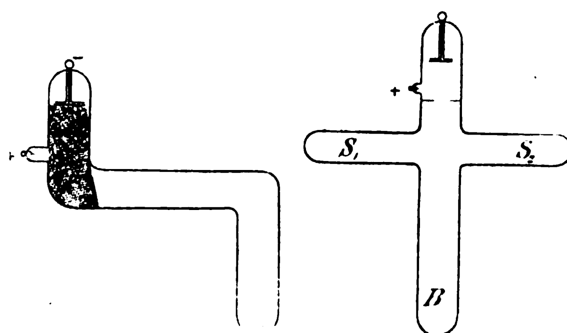


Fig. 1 et 2.

la lumière K_3 ne suivait pas un nombre quelconque de courbures prononcées du tube, mais que, par exemple dans le tube figuré, elle s'arrêtait de tout court en arrière de la deuxième courbure : dans les tubes des formes les plus diverses, cette lumière K_3 dans son plus grand développement ne parvenait que jusqu'à précisément l'endroit que pouvaient atteindre les rayons cathodiques diffusés par la paroi frappée par les rayons K_2

(région couverte de hachures sur la figure 1).

Comme ces rayons diffusés excitent la fluorescence du verre, il est facile d'apprécier exactement la limite de leur propagation.

Cette liaison apparente s'expliquerait immédiatement si la lumière de la troisième couche était aussi constituée par des rayons provenant de la réflexion diffuse des rayons K_2 à la surface du verre. Mais il n'en est pas ainsi, car la lumière K_3 se forme dans les récipients de grande dimension, autour de la cathode, alors que les rayons K_2 n'atteignent pas la paroi de verre. On ne peut pas admettre non plus que, sinon la totalité, du moins la portion de la lumière K_3 qui paraît contourner les angles et les courbures, provienne de la réflexion diffuse des rayons K_2 sur ces angles ou ces courbures. Car la lumière K_3 remplit les branches latérales d'un récipient tel que celui de la figure 2 : dans ce récipient, le faisceau de rayons K_2 limité par un diaphragme d'étroite ouverture, atteint la paroi seulement au fond de la branche B, tandis que la lumière K_3 pénètre à 7 cm au moins dans l'intérieur des branches S_1 et S_2 qui ont 25 mm de diamètre.

Cependant il n'est pas invraisemblable que la lumière K_3 se compose aussi de rayons, c'est-à-dire d'éléments rectilignes, bien qu'en bloc elle contourne les courbures et les angles. Seulement ce n'est pas à la cathode qu'il faut chercher l'origine de ces rayons. La lumière K_3, quand elle a atteint son plus grand développement, parvient toujours, quelle que soit la forme du tube, jusqu'aux points qui peuvent être joints par une droite, à travers l'espace raréfié, à un point quelconque des rayons K_2. Comme il est aisé de le reconnaître à l'inspection de la figure, cette limite est naturellement très voisine de la limite des rayons cathodiques diffusés qui parviennent jusqu'aux points qu'on peut joindre par des droites aux parois frappées par les rayons K_2.

En fait, les expériences ultérieures ont confirmé l'explication suivante : « La troisième couche de lumière cathodique est formée aussi de rayons rectilignes ; mais ces rayons n'émanent ni de la cathode, ni de la limite postérieure de la troisième couche, mais bien des rayons de la deuxième couche : ces rayons K_3 partent de tous les points des rayons K_2 et de chaque point vers toutes les directions de l'espace.

Je vais décrire quelques expériences qui justifient cette manière de voir.

Soit un récipient sphérique auquel sont soudés deux longs cols, l'un droit, l'autre recourbé deux fois ; dans chacun d'eux se trouvent des cathodes *a*, *b*, qui sont à la même distance du centre de la sphère. Si l'explication proposée est exacte, la lumière K_3 provenant de la cathode *a*, remplira la sphère, même dans les régions qu'on ne peut joindre à la cathode par une ligne droite. Au contraire, la lumière K_3 issue de *b* ne parviendra pas dans la sphère, si la courbure du tube est telle que, d'aucun point du faisceau K_2, on ne puisse mener jusqu'à la sphère une droite qui ne sorte pas de l'espace raréfié. C'est en effet ce qu'on observe. Quand *a* fonctionne comme cathode, toute la sphère qui a 11 cm de diamètre est remplie d'une lueur bleue; si *b* est la cathode, il n'y a plus de lueur bleue dans la sphère, même quand on élimine toute la lumière positive en prenant une anode *x* très voisine de *b*.

On peut faire une observation analogue sur le tube de la figure 1 ; si on fait une autre courbure sur la branche horizontale, on diminue la longueur absolue de la lumière K_3 qui se termine presque immédiatement en arrière de cette nouvelle courbure, sans atteindre la dernière. Tout d'abord on serait tenté de croire, ce qui est en soi invraisemblable, que la troisième couche se compose de lumière qui peut toujours passer une courbure, mais une seule. Pour voir ce qu'il en est en réalité, il suffit de modifier légèrement l'expérience avec le tube 3. La boule reste obscure, même quand on avance la cathode jusqu'à la position marquée par un trait ponctué, c'est-à-dire au delà de la première courbure.

Dans ces conditions, la lumière K_3 n'a plus qu'une courbure à passer pour atteindre la boule. Cependant elle ne l'atteint pas parce

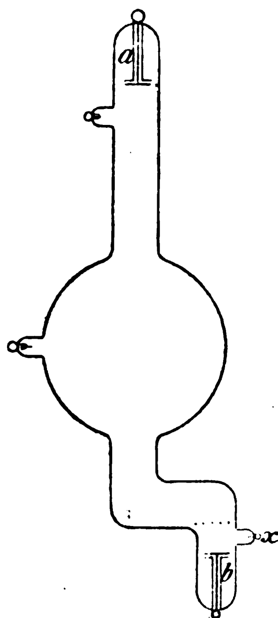


Fig. 3.

que dans cette position de la cathode, il n'y a pas encore de point du faisceau des rayons K_2 qu'on puisse joindre à l'intérieur de la boule par une droite.

Et même une portion de la sphère peut rester en dehors de la lumière K_3 quand la cathode est dans le col droit, si cette cathode

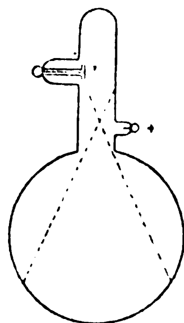


Fig. 4.

est disposée comme l'indique la figure 4 : ce qui est conforme à l'explication proposée. Dans la sphère pénètre un cône de lumière bleue, qui se déforme comme le faisceau cathodique, sous l'action de l'aimant et s'étend jusqu'où on peut aller en ligne droite d'un point du faisceau K_2.

Les portions de la sphère situées en dehors de ces limites ne reçoivent pas trace de lumière K_3.

Dans le récipient de la figure 5, les branches B et C ont la même longueur. La

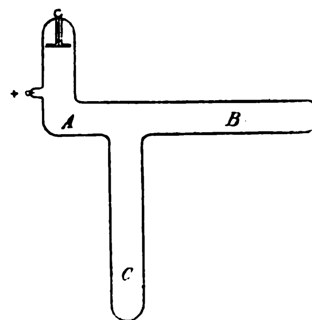


Fig. 5.

branche B est remplie complètement par la lumière K_3, tandis que C n'en reçoit qu'un faisceau très court, jusqu'à la limite des droites issues du faisceau K_2.

Comme la lumière est peu intense, il serait possible de se méprendre sur les limites exactes : aussi à différentes reprises j'ai employé la photographie avec une pose assez prolongée pour donner une impression suffisante. Quelques secondes suffisent pour les portions brillantes : les parties faibles posaient jusqu'à 7 minutes devant un anastigmat Zeiss très lumineux, avec une ouverture f : 6,3. Les limites des parties faibles ressortent alors très nettement et correspondent bien à l'origine qui leur a été assignée ci-dessus.

L'origine attribuée ainsi aux rayons K_3 explique aisément la différence de leurs propriétés avec celles des rayons K_2 que j'ai décrites dans mon mémoire de 1892.

L'ombre projetée par un corps solide placé sur le trajet d'un faisceau de rayons K_2 est remplie par la lumière K_3, parce que les rayons K_2 qui enveloppent l'ombre émettent des rayons K_3 vers l'intérieur de cette ombre. Un corps solide placé seulement dans le faisceau des rayons K_3 n'émet pas d'ombre,

parce que la largeur du faisceau K_2 est suffisante pour que des rayons K_3 arrivent en tout point situé derrière l'obstacle.

Il doit donc pouvoir se produire aussi une ombre dans la lumière K_3 du moment où l'écran a une largeur suffisante pour masquer le faisceau K_2, c'est-à-dire pour qu'on ne puisse mener d'un point de ce dernier aucune droite qui ne rencontre pas l'écran. On peut réaliser ces conditions en disposant un éoran large dans la section étranglée du faisceau convergent émis par une cathode concave, ou bien si la cathode est plane et émet un rayon de faisceaux K_2 peu divergent, en plaçant sur le trajet un écran assez large pour en déborder la section : on observe alors derrière l'écran une région presque complètement obscure. J'expliquerai plus loin la provenance de la lumière très pâle qui subsiste dans cette région.

Dans mes mémoires précédents, j'ai démontré au moins qualitativement l'identité des caractères que présente la lumière cathodique et la lumière négative secondaire.

Dans ma note sur la stratification de la lumière cathodique, j'ai montré aussi que la lumière négative est constituée par deux espèces de lumière dont l'une correspond aux rayons de la deuxième couche de la lumière cathodique, l'autre aux rayons de la troisième couche. En ce qui concerne la lumière négative, l'explication que j'ai donnée de la production de la lumière K_3 garde toute sa valeur.

Si on fait arriver la décharge dans l'air raréfié d'un récipient large dans un tube étroit (fig. 6), le faisceau de la lumière négative secondaire s'étend de plus en plus à partir de l'ouverture vers la partie large : le centre du faisceau est bleu clair et est entouré d'une couche épaisse de lumière jaune rougeâtre.

Tandis que le faisceau central se développe de plus en plus en avant, vers le fond du vase, la lumière jaune rougeâtre s'étend aussi en arrière, dans la partie supérieure du cylindre, là où aucun rayon rectiligne issu de l'ouverture ne pourrait pénétrer. Cependant elle n'atteint en arrière qu'une longueur limitée, quelques centimètres seulement, en général, mais en avant remplit le vase jusqu'au fond, même si le vase est très allongé.

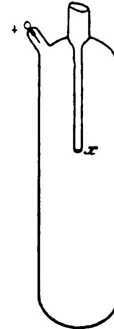


Fig. 6.

Cette différence serait inexplicable si on admet que la lumière jaune rougeâtre part de l'ouverture comme le faisceau central lui-même : mais elle s'explique aisément si on admet que cette lumière est émise par toute la surface du faisceau central.

La longueur des rayons jaune rougeâtre qui arrivent sur le fond antérieur du vase n'est pas plus grande que celle des rayons courts qui se propagent en arrière ; ils atteignent le fond seulement parce qu'ils proviennent des régions du faisceau central voisines de ce fond.

De même si l'une des surfaces d'une cathode métallique est isolée par un écran de verre appliqué exactement sur elle, la lumière bleue des rayons K_3 se montre aussi du côté de la face isolée. Cette lumière est émise par les portions de la lumière K_2 situées au voisinage de la cathode et pour cette raison semble plus courte que celle qui se propage en avant : celle-ci en effet est émise par des points qui s'avancent de plus en plus en même temps que les rayons K_2.

L'observation suivante s'interprète encore de la même manière : devant une cathode circulaire de petit diamètre, la lumière K_3 présente, pour une certaine pression du gaz, une forme hémisphérique : si on diminue la pression, elle ne se dilate pas uniformément,

mais prend une forme allongée dans le sens de l'axe.

Enfin on peut expliquer complètement, ce que n'étaient pas en mesure de faire les théories précédentes, les formes que prend la lumière cathodique dans un champ magnétique : il suffit d'admettre que la partie centrale de la lumière visible qui éprouve une déformation magnétique émane de la cathode elle-même sous la forme d'un faisceau conique de faible ouverture, tandis que les autres rayons visibles qui concourent à la production des courbes magnétiques émanent de ce faisceau et sur toute sa longueur. On s'expliquerait d'une manière analogue les formes que prend dans le champ magnétique la lumière négative secondaire.

Cependant je dois réserver pour un autre mémoire, l'explication complète, car la description et la discussion détaillée de ces diverses formes m'entraîneraient trop loin. Je ferai remarquer seulement que les rayons rectilignes K_3 sont déviés et déformés par l'aimant tout comme les rayons K_2.

Si chaque point d'un rayon K_2 émet de nouveaux rayons dans toutes les directions, on peut se demander si des points de ces derniers ne partent pas aussi d'autres rayons. Quelques observations paraissent se prononcer dans ce sens. Comme on l'a fait remarquer plus haut, l'intérieur d'une ombre projetée dans la lumière K_3, n'est pas absolument obscure, mais présente un éclairement très faible quand on le compare à un espace rigoureusement obscur. Sans vouloir entrer dans le détail d'expériences analogues, je ferai seulement remarquer que si les rayons K_3 donnent naissance à d'autres rayons, l'intensité lumineuse de ceux-ci doit être extraordinairement plus faible que celle de la lumière K_3.

Dans une première approximation, on peut donc considérer la lumière cathodique comme si elle donnait naissance à un seul système de rayons secondaires, dont chacun se propage ensuite en ligne droite sensiblement.

Cette propagation rectiligne est masquée non pas par une nouvelle diffusion des rayons K_3, mais par cette circonstance que les rayons émis dans toutes les directions par un point du faisceau K_2 s'entrecroisent avec les rayons émis par les autres points.

Il m'a paru bon de décrire les phénomènes que j'ai observés sous une forme purement objective, tels qu'ils se sont présentés à moi, il y a plusieurs années, sans chercher à expliquer le mécanisme de cette émission de rayons par d'autres rayons. Si on voulait tenter une explication, l'idée qui se présente immédiatement est d'appliquer les principes qui ont été indiqués par Lenard dans ses recherches sur les rayons diffus qu'émettent vers l'extérieur les parois métalliques minces frappées par les rayons K_2. *A priori* il n'est pas évident que ces principes soient applicables aux rayons cathodiques proprement dits, se propageant dans le vide. Lenard a trouvé ce que deviennent les rayons diffusés dans toutes les directions qui se produisent du côté extérieur d'une membrane métallique rencontrée par des rayons cathodiques ordinaires, se propageant dans une seule direction. Il n'est pas démontré que ces rayons diffus soient de même nature que les rayons de direction unique dirigés vers l'intérieur et que ces rayons soient le prolongement les uns des autres. D'ailleurs il semble que ces rayons éprouvent en traversant les gaz des modifications différentes. Lenard est arrivé à cette conclusion que les rayons étudiés par lui sont des phénomènes qui se passent dans un espace tellement petit que les dimensions d'ordre moléculaires ne sont plus négligeables : les molécules gazeuses se comportent vis-à-vis d'eux comme des obstacles séparés et agissent comme les fines poussières suspendues dans l'air qui diffusent la lumière. Déjà en 1881, j'ai décrit les phénomènes qu'on observe quand les rayons cathodiques rencontrent une surface métallique de quelque étendue et constaté que ces rayons sont toujours diffusés, quel que soit le poli de la surface. Dans la mesure où les

phénomènes que j'ai observés au cours de mes recherches me permettent de l'affirmer, il me semble qu'il faudrait préciser la proposition de Lenard et dire : les rayons cathodiques qui rencontrent une molécule gazeuse éprouvent qualitativement les mêmes transformations que s'ils rencontraient une paroi solide d'étendue finie. Ce postulatum permet de coordonner des séries de phénomènes en apparence très différents.

On arrive ainsi à cette idée que les rayons cathodiques diffus et les rayons de la troisième couche de lumière cathodique sont de même nature : les premiers résultent du choc des rayons cathodiques sur une paroi solide, les autres du choc des rayons cathodiques sur les molécules de gaz.

Se produit-il seulement une diffusion, c'est-à-dire les rayons diffusés sont-ils de même nature que les rayons incidents, il est difficile de le dire actuellement. Fréquemment les rayons diffusés présentent une coloration toute différente de celle des rayons incidents dont ils proviennent : dans l'oxygène, les rayons K_2 sont violets, les rayons K_3 sont jaunes, jaune verdâtre ou gris, suivant la pression du gaz; dans l'hydrogène, les rayons K_2 sont bleuâtres, les rayons K_3 sont blanchâtres.

Il paraît plus prudent de dire, sans faire d'hypothèse sur la nature des rayons diffusés et sur leur relation avec les rayons incidents : quand les rayons K_2 frappent une paroi solide ou une molécule gazeuse, chacune des particules frappées émet dans toutes les directions de nouveaux systèmes de rayons. Ces rayons se propagent en ligne droite et sont déviés par le champ magnétique de la même manière que les rayons K_2. Pour abréger, on peut désigner ces divers groupes de rayons diffusés sous le nom de rayons *d*.

On peut encore observer une autre propriété de ces rayons.

On fait tomber des rayons K_2 sur une paroi solide quelconque dans l'intérieur d'un vase où le vide a été bien poussé. Sur le trajet des rayons *d* émis par cette paroi on dispose une membrane métallique comme la mettait Hertz sur le trajet des rayons K_2 ordinaires. Les rayons *d* semblent traverser la membrane, car derrière cette membrane la paroi du vase est fluorescente. Si, en réalité, les rayons ne faisaient que traverser la membrane, l'éclat de la paroi serait indépendant de la distance qui la sépare de la membrane. Au contraire, la fluorescence est d'autant plus vive que la membrane est plus voisine de la paroi : son éclat diminue, mais son étendue augmente quand on éloigne la membrane. Un rayon *d* ne traverse donc pas la membrane : mais en arrière de la membrane qu'il a frappée se produit, à la place du faisceau limité incident, un rayonnement diffusé dans toutes les directions. D'ailleurs un rayonnement analogue se produit aussi dans la région antérieure, comme le prouvent des expériences particulières.

En résumé, on pourra donc dire :

Quand un faisceau de rayons *d* frappe une paroi mince, il se produit dans toutes les directions de l'espace, en avant comme en arrière de la paroi, un système de rayons, dont les éléments dirigés en arrière, traversent la paroi.

Déjà on avait trouvé qu'un faisceau de rayons K_2 tombant sur une paroi *quelconque* produit un système de rayons qui se propagent dans toutes les directions possibles en avant de la paroi. Hertz avait observé que, si la paroi est mince, des rayons diffusés sortent aussi de la face postérieure.

Il me semble en découler une première conclusion concernant les rayons de Lenard. Quand un faisceau de rayons K_2 tombe sur une paroi solide quelconque, il se produit dans toutes les directions des rayons diffusés, susceptibles de pénétrer jusqu'à une certaine profondeur dans la paroi. Si l'épaisseur de la paroi est plus grande que cette profondeur limite, seuls les rayons diffusés vers la région antérieure sont accessibles à l'observation : ce sont les rayons désignés jusqu'ici sous le nom de rayons cathodiques diffusés. Si la paroi du vase est plus mince que cette limite,

les rayons la traversent et se propagent aussi dans l'espace situé au delà de la paroi : ce sont les rayons de Lenard.

Ces derniers ne seraient alors rien autre chose que les rayons cathodiques ayant éprouvé la réflexion diffuse que j'ai décrits dès 1881. Cette identification des rayons de Lenard avec une forme de rayonnement connue d'assez longue date, n'enlève rien au mérite de ce physicien, qui a démontré, au grand étonnement des savants, que ces rayons étaient susceptibles de se propager aussi dans l'air libre. M. L.

Durée de certains phénomènes cathodiques;

Par E. Wiedemann [1].

Les chutes brusques de potentiel qui se produisent à la cathode et provoquent la déflexion des rayons cathodiques, n'ont pas de durée appréciable.

La disposition de l'appareil qui a servi à M. Wiedemann pour démontrer ce fait, est figurée ci-dessous (fig. 1, 2). La figure 1 est une coupe horizontale, la figure 2 une coupe verticale; G est un ballon de verre dans lequel pénètre un tube de verre mince *g* : K_1 et K_2 sont les boules d'un micromètre, reliées aux extrémités des fils d'un réseau de Lecher ou d'un système d'Ebert pour la production des oscillations électriques rapides. Dans le tube *g*, on peut enfoncer plus ou moins une tige métallique *d* qui est reliée à K_1 ou à K_2, ou isolée.

Si le tube *d* est isolé et que la pression est assez basse on voit apparaître dans les régions K_1 et K_2, diamétralement opposées des taches de fluorescence verte, sur lesquelles se détache l'ombre très nette du tube *g*. On relie ensuite la tige *d* à K_1 et on l'enfonce peu à peu dans le tube. L'ombre portée par les rayons émanés de K_1 s'élargit progressivement du haut vers le bas, suivant le mouvement du tube. La cathode ainsi créée dans le tube produit donc la déflexion des rayons.

L'ombre portée par les rayons issus de K_2 reste nette et ne s'élargit pas. Il faut en conclure qu'au moment ou K_2 devient cathode, la chute cathodique de potentiel, provoquée sur le tube *g* par l'oscillation précédente a déjà disparu.

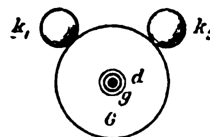


Fig. 1.

L'expérience réussit encore, mais un peu plus difficilement quand on verse de l'eau dans le tube *g* : quand la tige *d* est plongée profondément dans cette eau et qu'elle est reliée à K_1 ou à K_2 la déflexion est si prononcée et l'image devient si floue, qu'il est difficile de reconnaître le phénomène; les observations ne sont possibles que si on amène *d* seulement en contact avec l'eau. Dans ce cas, la répartition de la décharge change. Il en est encore de même, si on remplace les boules K_1 et K_2 par des plaques (fig. 2). Si *d* est relié avec K_1 c'est entre *d* et K_2 que se fait la plus grande partie de la décharge et non entre K_1 et K_2.

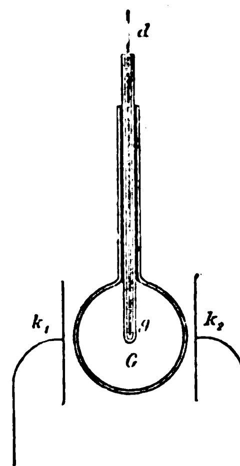


Fig. 2.

Quand le tube *g* est enduit d'une substance luminescente, qu'il est rempli d'eau,

---

[1] *Wied. Ann.*, t. LXVII, p. 714-716, mars 1899.

qu'on relie d à K_1 et qu'on éloigne K_1 du ballon G de manière que d et K_2 forment les électrodes, la substance luminescente s'illumine en face de K_2. Il n'en saurait être ainsi s'il se produisait encore sur g une chute de potentiel considérable, au moment où K_2 devient cathode : Goldstein a montré en effet qu'une cathode frottée de craie, par exemple ne s'illumine pas quand elle reçoit les rayons cathodiques émanés d'une autre cathode.

D'après cette disparition rapide de la chute de potentiel énorme qui se produit lors du passage de l'électricité positive d'un gaz raréfié à une paroi conductrice ou non, on s'explique que les mouvements des rayons cathodiques dans les expériences d'Ebert [1] suivent si fidèlement toutes les variations d'un champ à haute fréquence. M. L.

Mesures électriques et thermiques sur les tubes à décharges;

Par E. WIEDEMANN et G.-C. SCHMIDT [2].

1. *Comparaison entre la machine à influence et la batterie d'accumulateurs.* — Quand on excite un tube par une machine à influence de 20 plateaux ou par une batterie d'accumulateurs de 1 000 éléments, les chutes de potentiel sont les mêmes dans les deux cas.

L'instrument employé pour la mesure des différences de potentiel est un électromètre de Mascart, modifié par Warburg, avec une suspension particulière (fig. 1). Les deux fils de suspension sont accrochés aux deux fils a et b, qui sont soudés à deux petits pignons a_1 et b_2. La tige q, qu'on tourne au moyen du bouton k dans le tube h se termine par une vis sans fin qui engrène avec les pignons : en faisant tourner ceux-ci, on écarte ou rapproche les crochets a, b. Le tube h avec q, a_1 et b_1 peut s'élever ou s'abaisser dans l'anneau h_1 et s'y fixer à l'aide de la vis de serrage s. Tout ce système tourne sur lui-même dans le couvercle quand on agit sur la vis sans fin S.

Le tube renferme de l'azote, extrait de l'azotite d'ammonium et auquel on a fait traverser avant de l'introduire dans le tube une dissolution d'acide pyrogallique et de l'acide sulfurique concentré.

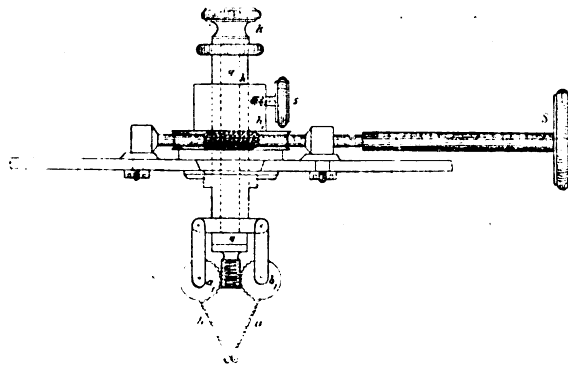


Fig. 1.

Dans une première série d'expériences où la batterie d'accumulateurs servait exclusivement, MM. Wiedemann et Schmidt ont obtenu des nombres qui sont d'accord avec ceux de Herz et de Graham [1].

Le champ électrique moyen (quotient de la chute de potentiel entre deux points par la distance de ces deux points comptée sur l'axe du tube) décroît dans la lumière positive de l'anode vers la cathode, tout aussi bien quand la décharge est stratifiée ou quand elle ne l'est pas.

La différence de potentiel entre deux sondes placées dans la région obscure est très faible, mais croît beaucoup quand on fait arriver la lumière positive jusqu'aux sondes en faisant varier l'intensité du courant. De même si on écarte la lueur au moyen d'un aimant pour laisser la lumière positive atteindre les sondes.

Dans les expériences suivantes, on a comparé les décharges obtenues par la machine à influence et les décharges obtenues par la batterie d'accumulateurs. Il n'y a aucune

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XV, p. 259.

[2] *Wied. Ann.*, t. LXVI, p. 301-341, octobre 1898.

[1] Herz, *Écl. Élect.*, t. III, 332; Graham, *ibid.*, t. XV, 38.

différence essentielle entre les deux : le champ moyen est le même dans les deux cas, à quelques centièmes près : les écarts n'atteignent que rarement 10 p. 100, l'aspect de la décharge est aussi le même.

Avec une machine à influence de plus petit modèle, il est impossible d'obtenir des résultats concordants, car la décharge ne prend jamais la même forme que la décharge des accumulateurs. Dès que la décharge prend la forme disruptive, il est impossible de se servir des sondes, parce qu'en raison des oscillations intenses qui se produisent, toutes les sondes jouent le rôle de cathodes.

2. *Comparaison des mesures thermiques et des mesures calorimétriques.* — Dans les tubes de petit diamètre, la méthode des sondes n'est plus applicable et il faut recourir aux mesures thermiques.

Dans un tube de section moyenne, on peut comparer directement les deux procédés. On entoure une partie d'un tube d'un calorimètre et on place les sondes immédiatement au-dessus et au-dessous du bord de ce calorimètre. Le tube est excité par les accumulateurs. Les valeurs du champ moyen trouvées dans les deux cas sont à peu près les mêmes : les écarts sont tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre ; il n'y a donc pas d'erreur systématique.

G. Wiedemann a montré que l'élévation de température par unité de longueur et par suite le champ moyen restent sensiblement constants quand on augmente la section du tube même dans le rapport de 1 à 64 : ce fait a été vérifié ensuite par Naccari et Bellati et par E. Wiedemann. Herz a trouvé le même résultat dans les tubes plus larges, en opérant par la méthode électrométrique.

MM. Wiedemann et Schmidt ont répété ces expériences sur des tubes de toute section, depuis les tubes capillaires jusqu'à un tube large d'une section environ 1 800 fois plus grande. Si on maintient l'intensité du courant constante, le champ moyen devient seulement deux ou trois fois plus grand. Sans doute, la variation serait encore plus faible, si ce n'était la difficulté de maintenir un courant constant dans les tubes capillaires. De plus dans la région où se rejoignent deux tubes de section différente, le champ moyen éprouve une variation discontinue, petite relativement à la variation de la section, mais qui se produit dans les limites d'un intervalle très petit. Dans cette région doit donc s'amasser de l'électricité libre dont la densité ρ est donnée par l'équation :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = 4\pi\rho.$$

Si donc un tube capillaire est intercalé entre deux tubes plus larges, à l'entrée du courant positif doit s'accumuler de l'électricité positive, comme au voisinage d'une cathode et de l'électricité négative à la sortie. C'est sans doute là la cause qui fait naître les rayons cathodiques dans les parties étranglées des tubes.

Des expériences relatées ci-dessus et des expériences plus anciennes découle cette conclusion :

Le champ moyen dans un gaz à une pression déterminée est indépendant, dans une large mesure, de la section du tube et de la nature de la décharge. En d'autres termes, la quantité d'énergie cédée à un gaz dont la pression est donnée dépend peu de la section du tube et du caractère continu ou disruptif de la décharge : par suite, il est indifférent de déduire la valeur de cette énergie de celle du champ moyen ou de celle de l'élévation de température éprouvée par le gaz.

3. *Influence de la lumière ultraviolette et de la photoluminescence du gaz sur le champ moyen.* — La lumière ultraviolette n'influe pas sur la valeur du champ moyen : les expériences effectuées tant sur l'azote que sur le chlore ont toutes donné un résultat négatif. Le champ moyen ne dépend pas non plus de la photoluminescence du gaz ainsi qu'il résulte des expériences faites sur les vapeurs d'anthracène et de naphtalizarine.

4. *Champ moyen et élévation de température dans la lueur négative.* — Au voisinage de la cathode, il se produit un dégagement de chaleur considérable. Ce dégagement de chaleur diminue quand on s'éloigne de la cathode, passe par un minimum dans la région obscure, croît de nouveau, atteint un maximum dans les rayons de lumière positive, décroît ensuite jusqu'à un nouveau minimum et remonte quand on atteint la lumière positive.

Le champ moyen ne suit pas ces variations : il passe par un minimum dans la lueur négative (Graham). La chute de potentiel correspond à une perte d'énergie qui n'est pas employée sur place, mais communique à l'électricité (?) ou à la matière des rayons cathodiques une certaine énergie cinétique, qui se perd ensuite dans la région où on observe l'élévation de température maxima.

Des mesures comparatives effectuées sur un même tube, de l'élévation de température par une pince thermoélectrique et du champ moyen par des sondes, il résulte qu'il en est bien ainsi. On trouve que : la chute de potentiel au voisinage de la cathode est employée en partie à la production de rayons qui s'absorbent dans la lueur négative et dans les autres régions.

Au contraire, dans la lumière positive l'énergie électrique est transformée sur place en énergie calorifique comme le prouvent les expériences relatées en premier lieu, d'après lesquelles le champ moyen mesuré directement ou déduit des mesures calorifiques a la même valeur.

5. *Tubes en entonnoir.* — Une série de sondes sont disposées de part et d'autre de l'entonnoir. La différence de potentiel totale est donnée par un électromètre de Braun dont un des pôles est relié avec l'une des extrémités du tube et l'un des pôles de la batterie d'accumulateurs, tandis que les deux autres pôles sont reliés au sol.

Les phénomènes-types sont les suivants :

1° Le courant entre par la pointe de l'entonnoir. Autour de la cathode on observe les apparences habituelles, auxquelles succède la région obscure : vient ensuite la lumière positive stratifiée, qui pénètre dans l'entonnoir (fig. 2); de l'entonnoir dans l'espace obscur qui y est adjacent sort un faisceau de rayons cathodiques, très sensible à l'action de l'aimant; enfin viennent quelques couches de lumière positive. Autour de la tige de l'entonnoir se forme une lumière rougeâtre

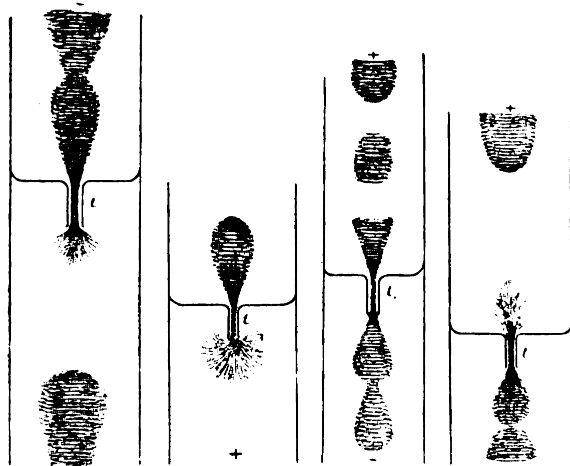


Fig. 2 à 5.

qui sous l'action du champ magnétique se transforme en une stratification. Le faisceau de rayons cathodiques est divergent et brillant surtout dans sa partie centrale. La divergence augmente quand la pression diminue et il se produit des rayons qui sont inclinés de plus de 90° sur l'axe (fig. 3).

2° Le courant entre par la partie large de l'entonnoir. De l'anode part un faisceau de lumière positive qui s'étend jusqu'à la région cathodique obscure (fig. 4). Aux basses pressions, apparaît un faisceau cathodique qui se dirige vers l'anode et qu'une région obscure sépare de la lumière positive (fig. 5).

Avec un entonnoir assez large (diamètre de la tige 3 mm) la différence de potentiel totale et le champ moyen sont indépendants du sens du courant, quand celui-ci est continu (la continuité se vérifie au moyen du miroir tournant et se traduit aussi par l'absence des phénomènes cathodiques) : dans

ces conditions, il n'y a donc pas d'effet de soupape.

Dans un tube à entonnoir plus étroit (1 mm), l'effet de soupape ne se fait pas sentir non plus quand le courant est continu : mais, si le courant est discontinu la différence de potentiel totale est plus grande quand le courant entre par la partie large de l'entonnoir et la chute de potentiel est plus rapide.

Une autre expérience montre directement que l'effet de soupape se produit seulement pour le courant discontinu. Un tube est partagé en deux par une cloison longitudinale

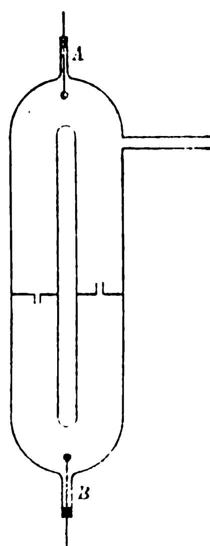


Fig. 6.

(fig. 6) et de part et d'autre de cette cloison se trouvent des entonnoirs dirigés en sens contraire. Tant que la décharge est continue, elle se partage également entre les deux chemins qui lui sont offerts, que A ou B soit l'anode. Mais dès qu'on intercale dans le circuit un intervalle explosif, l'effet de soupape se montre d'une manière très nette.

6. *Variation de la décharge avec le temps.* — En examinant dans un miroir tournant une décharge stratifiée remplissant un tube à entonnoir, on observe, suivant la pression, deux phénomènes essentiellement différents. Sur la figure 7, la gauche représente les phénomènes précédant ceux qui figurent à droite.

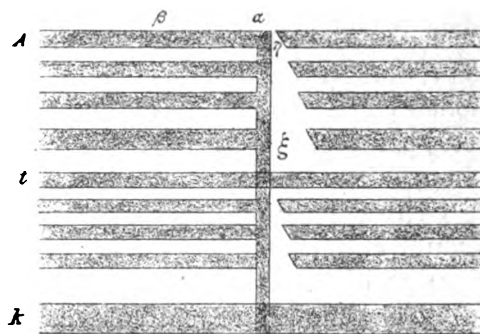


Fig. 7.

Aux pressions assez élevées (3 mm), il se produit d'abord une décharge disruptive, à laquelle succède une bande continue. Cette décharge disruptive amène le gaz dans l'état où il est conducteur et un courant continu lui succède jusqu'à ce que l'électricité amassée soit épuisée. La décharge est ensuite interrompue jusqu'à ce que la différence de potentiel ait repris la valeur nécessaire à la décharge disruptive.

Aux pressions plus réduites (0,5 mm) la décharge est de prime abord continue; aux pressions encore plus basses, elle présente de nouveau des traces de discontinuité (fig. 7 : A, anode; K, cathode).

On observe en général une bande continue β, formée de parties lumineuses et de parties obscures correspondant aux stratifications, à laquelle se relie une décharge disruptive non stratifiée α, qui traverse tout le tube et a au voisinage de la cathode une région particulièrement brillante. A cette décharge très brillante succède une décharge continue. Si la pression n'est pas trop basse la bande lumineuse *t* correspondant à l'entonnoir est parfaitement continue. Il semble qu'il se développe, progressivement à la cathode pendant le passage du courant, une résistance croissante, que doit vaincre tout à coup une décharge disruptive.

Quant aux détails, α représente l'une des décharges disruptives, à laquelle se lie la bande continue, limitée nettement par une

région obscure. chose remarquable, cette région obscure apparaît à la cathode, aussi bien à la cathode réelle qu'à la cathode secondaire constituée par l'entonnoir, avant d'apparaître à l'anode; de sorte que cet espace obscur a la forme d'un triangle dont la pointe est à l'anode. Chacune des bandes lumineuses qui répondent aux stratifications se termine en pointe du côté de cette région obscure.

On serait tenté de conclure de ces apparences que la décharge se propage à partir de l'anode avec une vitesse finie. Cela est peu vraisemblable : à vrai dire les régions voisines de l'anode tant dans la décharge entière que dans les stratifications brillent plus tôt que les régions voisines de la cathode. Mais d'une part, il y a toujours de la lumière dans la région t; d'autre part la vitesse de propagation qu'on calculerait ainsi n'est que 200 m par seconde, ce qui est bien peu. Il est plus probable que les diverses portions du gaz ne sont amenées que progressivement à l'état dans lequel le gaz est susceptible de transformer l'énergie électrique en énergie lumineuse : ces conditions se trouvent réalisées très rapidement dans la partie étroite du tube, dans l'espace obscur plus tard que dans les parties voisines de la cathode.

7. *Influence du champ magnétique sur le champ moyen dans la lumière positive.* — Le tube est placé entre les pôles d'un électro-aimant qu'on peut déplacer parallèlement à l'axe du tube. Les pôles se trouvent toujours entre les sondes dont on mesure la différence de potentiel. Le champ magnétique est rendu aussi intense qu'on peut le faire sans que la décharge devienne disruptive. L'action de ce champ réduit le faisceau de lumière positive à une section très faible : de 2,2 cm elle est réduite par exemple à 0,7 cm. On relie à la pompe en même temps que le premier tube, un second dont le diamètre est de 0,7 à 0,8 cm. Si le champ magnétique n'exerce aucune action spéciale sur le champ moyen, ce champ moyen devait être le même dans ce tube étroit et dans le faisceau du premier tube, dont la section a été réduite par le champ magnétique. Mais dans le tube étroit la décharge devient toujours disruptive, ce qui ne permet pas de faire les mesures avec les sondes.

Cependant des mesures précédentes on peut déduire que l'action du champ magnétique n'a rien de spécial et fait varier le champ moyen seulement dans le rapport qui correspond à la diminution de la section du faisceau qu'il provoque.

La présence de l'aimant joue donc le même rôle que celle d'un étranglement dans le tube. On sait que dans les tubes étroits on observe souvent le spectre de lignes du gaz dans les conditions où un tube large donne le spectre de bandes. De même pour beaucoup de gaz le spectre de bandes se transforme en spectre de lignes quand on met le tube dans un champ magnétique. Cette transformation s'explique donc sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir une action particulière de l'aimant sur le spectre.

M. L.

CHRONIQUE

Les applications du joint Falk en France. — Employé pour la première fois au printemps de 1894 sur une des lignes de la Citizen's Railway Company, de Saint-Louis (*Ecl. Elect*, t. III, p. 175, 27 avril 1895, et t. VI, p. 169, 25 janvier 1896), le joint Falk s'est rapidement répandu aux États-Unis où l'on comptait près de 90 000 joints de ce genre à la fin de 1896 et plus de 200 000 au milieu de l'année dernière. Un rapport lu à l'assemblée de 1898 de l'Union internationale permanente de tramways nous fournit sur ce joint les renseignements qui suivent. les uns résumant les données qui ont été

publiées à plusieurs reprises dans ce journal, les autres nous faisant connaître les résultats obtenus dans les applications de ce joint, faites récemment en France, à Lyon, Marseille, Le Havre, Rouen et Paris :

« Dans le procédé Falk, on met en contact intime tous les bouts de rails au moyen d'une masselotte de fonte coulée sur place (voir pour la description détaillée, *L'Eclairage Electrique* du 10 juillet 1897, t. XII, p. 119). La longueur de cette masselotte est de 35 à 40 cm ; son poids de 35 à 60 kg ; son épaisseur minimum à l'aplomb des abouts de rails de 5 cm ; sa forme varie avec le type de rail, mais on peut la comparer dans l'ensemble à une enclume. La continuité du joint est réalisée non seulement par l'apposition de la masselotte de fonte, mais aussi par l'introduction entre les deux bouts de rails consécutifs, de cales en tôle d'acier, enfoncées jusqu'à refus.

» Le matériel nécessaire à la confection du joint Falk se compose : *a*, d'un cubilot mobile et de ses accessoires (poches de fonderies, ringards, etc.) ; *b*, de moules, serre-moules, chiens et serre-joints ; *c*, de coke métallique ; *d*, de fonte de moulage, de castine ou fondant, de terre réfractaire pour le graissage du cubilot, de plombagine et d'huile de lin pour le badigeonnage préalable de la surface intérieure des moules.

» La confection des joints s'opère de la façon suivante : Après enlèvement des éclisses, on procède d'abord au décapage de l'âme et des patins du rail où le joint doit être placé, soit à la main en employant du coke et de l'acide chlorhydrique, soit plus rapidement avec une machine à jet de sable. Le décapage doit être soigneusement fait si l'on veut obtenir un contact intime entre la fonte et le rail. Quand les pièces sont ainsi préparées, on verse dans les moules préalablement assujettis et rendus étanches, la fonte maintenue à la température de 1200° à 1400° C, et cela assez doucement pour éviter les boursouflures. On peut arriver à souder 60 à 120 joints par jour.

» Les joints Falk offriraient plusieurs avantages :

» Au point de vue mécanique et électrique l'éclissage serait excellent. La voie aurait un meilleur roulement au grand avantage des voyageurs, du matériel roulant et de la voie même. On ne verrait plus se produire l'écrasement des abouts de rails qui est la conséquence du martelage habituellement produit par le passage des voitures. Les éclisses dont l'entretien est assez élevé dans une voie ordinaire sont supprimées.

» Au point de vue élec… rails serait accrue dans un… espérerait supprimer les dangers d'électrolyse.

» Au point de vue de la dilatation, on a fait remarquer que les voies de tramways, noyées dans le sol, ne sont que peu sujettes aux variations de température.

» A Hanovre, cependant, on a constaté, à la suite de grandes chaleurs un soulèvement du rail en son milieu. Cet accident a endommagé le revêtement en asphalte de la chaussée et a fait rejeter le système par l'autorité municipale. Cet inconvénient n'aurait pas été observé ailleurs.

» Les variations de température se traduisent par une variation dans la fatigue du rail et en donnant à ce dernier une section convenable, on conçoit qu'on puisse obtenir une résistance suffisante.

» A Lyon, pendant plus d'une année, on n'a constaté qu'un nombre insignifiant de ruptures de joints (3 pour 1 000 au plus) ; elles seraient dues, paraît-il, surtout aux malfaçons qu'il est difficile d'éviter dans tout essai nouveau.

» A Chicago, où la température subit des variations très considérables, le constructeur donne une garantie de 50 pour 1 000 de rupture.

» Quant aux ruptures déterminées par le poids même des véhicules on pourrait les considérer comme nulles. D'ailleurs dans le cas d'une rupture accidentelle, il est possible de refaire le joint.

» La conductance du joint Falk a été mise en relief dans deux expériences faites, l'une à Lyon le 7 janvier 1898, l'autre à Paris le 29 avril.

» Dans la première, faite sur la ligne de Saint-Fons, l'expérience portait sur une longueur de 1 570 m. La résistance était mesurée en faisant passer le courant dans le rail et en relevant avec un voltmètre très sensible, la différence de potentiel entre les deux extrémités.

» On a trouvé ainsi pour le joint Falk, immédiatement après la soudure, une résistance de 0,0315 ohm. Dans un autre essai, huit mois après la soudure, on aurait relevé le même chiffre.

» Une connexion en cuivre du type Chicago rail-bond avait donné une résistance de 0,0634 ohm.

» Dans la seconde expérience faite à Paris sur la ligne « Charenton-Bastille », un kilomètre de voie simple avec joints Falk a donné une résistance de 0,0144 ohm, alors qu'une connexion Chicago rail-bond accusait dans les mêmes conditions 0,0159 ohm soit 10 p. 100 en plus.

» Le joint Falk coûte en général en France, y

compris les droits de brevets, de 18 à 20 fr ; à Marseille, on est parvenu à le réduire à 16 et 18 fr. Ce prix est supérieur d'au moins 2 fr à l'éclissage que l'on obtiendrait au moyen d'un joint à double éclisse et à deux connexions. L'expérience seule pourra indiquer si l'augmentation dans les frais d'établissement est compensée par une économie suffisante dans les frais d'entretien. Sur la ligne de tramways de Lyon à Oullins, les dépenses d'entretien seraient tombées avec l'application du joint Falk de 5 000 fr par an et par km d'entretien à 100 fr à peine ; l'avenir apprendra si cette différence se maintient.

» Quoi qu'il en soit, ce joint est actuellement employé en France à Lyon (14 000), Marseille (10 000), Le Havre (7 500), Rouen (8 000) et à Paris (2 450) sur la ligne Bastille-Charenton.

» Il a reçu aussi des applications assez importantes en Angleterre, en Allemagne et surtout en Amérique, où l'on compte actuellement plus de 200 000 joints. Un essai a été fait également à Paris par la Compagnie du chemin de fer d'Orléans et par la Compagnie générale des Omnibus. »

Ajoutons que sur les lignes de pénétration actuellement en construction dans la région est de Paris, ce joint est employé.

Sur la pile-étalon au cadmium. — A la suite de l'article que nous avons consacré (nº du 22 juillet, p. 98) à l'exposé des travaux dont cet élément a été l'objet, M. W. Jaeger nous écrit une lettre dont nous détachons le passage suivant :

« Je suis complètement d'accord avec vous relativement aux remarques que vous faites sur le travail de M. Henderson. D'ailleurs depuis fort longtemps déjà nous employons à la Reichsanstalt, pour les mesures directes, des éléments de faible résistance qui ne diffèrent de ceux étudiés par M. Henderson que par l'ordre des substances : l'amalgame de cadmium est à la partie inférieure, au-dessus se trouve une couche de cristaux humides de sulfate de cadmium, puis la pâte de sulfate mercureux dans laquelle plonge une feuille de platine amalgamé. Ces éléments ont une résistance de 50 à 100 ohms.

» Nous n'avons fait aucune communication sur les résultats de nos essais de ces éléments, mais vous pouvez dire que ces éléments se comportent comme les éléments normaux en H. Ils sont très facilement transportables ; nous en avons envoyé un certain nombre il y a quelque temps à la Technische Hochschule de Hanovre, qui en est très satisfaite.

» Nous préférons les éléments normaux en H pour les mesures faites par la méthode de compensation, mais pour les mesures directes ces éléments ont, sans contredit, une résistance beaucoup trop élevée. »

Variation de conductibilité des poudres métalliques. — M. Sundorph (*Wied. Ann.*, t. LXVIII, 594-597) indique une forme nouvelle d'expérience sur la variation de conductibilité des poudres métalliques. A une plaque de verre horizontale sont fixées parallèlement l'une à l'autre deux tiges de métal, à quelques millimètres d'écartement : l'intervalle est rempli de nickel ou de fer assez finement pulvérisé. Le système fait partie d'un circuit qui renferme une pile de quelques éléments et un galvanomètre.

Il est aisé de rendre la poudre conductrice soit en l'exposant à des ondes électriques, soit en fermant plusieurs fois le circuit au moyen d'un fil métallique placé sur les deux tiges. Quand la conductibilité est ainsi établie, on enlève au moyen d'un aimant peu énergique la plus grande partie de la poudre : il reste toujours entre les deux tiges, une couche mince de poudre, plus ou moins solide et qui livre passage au courant.

L'expérience ne réussit pas toujours, parce que l'aimant brise assez facilement ce pont. L'existence de ce pont est prouvée par ce fait qu'on peut enlever de grandes quantités de poudre sans faire varier l'intensité du courant, tandis que la suppression d'une très petite quantité suffit souvent à faire revenir le galvanomètre au zéro.

En frappant légèrement sur la lame de verre, on fait disparaître la conductibilité : le pont est donc rompu, mais sur un espace vraisemblablement très court. Aussi une cause très faible suffit à rétablir la conductibilité. Il suffit, par exemple, de plonger dans le mercure du godet placé dans le circuit l'extrémité d'un fil de cuivre tenu à la main par un bâton de verre, si toutefois on n'a frappé que très légèrement sur la lame. Le phénomène est dû, sans doute, aux étincelles qui se produisent dans l'intérieur de la poudre par suite de la variation du courant.

On rétablit également la conductibilité en reliant l'une des tiges qui sont sur la plaque de verre à une batterie d'une cinquantaine de volts, après avoir isolé complètement la poudre : le phénomène

s'explique encore par des étincelles qui fondent la poudre et rétablissent le pont.

Quand on soumet une poudre à l'action des étincelles électriques, il arrive souvent que l'aiguille du galvanomètre oscille, et finit par s'arrêter dans une position d'équilibre ou par revenir au zéro. C'est que le pont se trouve rompu à certains endroits, puis est rétabli par les étincelles que provoque la force électromotrice induite par l'affaiblissement du courant.

On comprendrait dans cette manière de voir pourquoi une élévation de température détruit la conductibilité et non un abaissement de température. Si on suppose les grains de poudre réunis par des filaments, ces filaments éprouvent, par suite de l'élévation de température une pression sur leurs extrémités ; cette pression les brise parce qu'ils ne sont pas rectilignes. L'abaissement de température provoque au contraire une tension à laquelle ils résistent. M. L.

Les unités électriques et magnétiques peuvent-elles s'exprimer en fonction des unités fondamentales de masse, de longueur et de temps ? — M. Schreber (*Wied. Ann.*, t. LXVIII, p. 609-614) trouve qu'il est impossible d'exprimer les unités électriques et magnétiques en fonction des unités fondamentales de masse, de longueur et de temps.

La définition actuelle des unités électriques et magnétiques repose sur quatre formules, empruntées à l'expérience. Les quatre expériences consistent à équilibrer les forces électriques, magnétiques, électromagnétiques et électrodynamiques par des forces mécaniques. On arrive ainsi aux formules

$$F = K_1 \frac{mm'}{r^2}$$

$$F = K_2 \frac{\mu\mu'}{r^2}$$

$$F = K_3 \frac{\mu i ds}{r^2}$$

$$F = K_4 \frac{ii' ds ds'}{r^2}$$

trop connues pour qu'il soit nécessaire de rappeler la signification des lettres qui y figurent. L'intensité i d'un courant est définie comme le quotient d'une quantité d'électricité m par un temps t.

$$i = \frac{m}{t}.$$

De ces cinq équations, on

$$m = r\sqrt{\frac{F}{K_1}} \quad \mu = r\sqrt{\frac{F}{K_2}} \quad i = \frac{r}{t}\sqrt{\frac{F}{K_1}}$$

et ensuite :

$$K_1 = K_4 v^2$$
$$K_2 K_4 = K_3^2$$

où $v = \frac{r}{t}$ a les dimensions d'une vitesse ; c'est d'ailleurs la vitesse dite critique, déterminée par Rowland. On ne dispose donc que de deux équations pour déterminer les quatre facteurs K_1, K_2, K_3, K_4. Un tel système n'a pas de solution et par conséquent il est impossible de ramener les unités électriques et magnétiques aux unités fondamentales.

Cette conclusion négative n'est pas en contradiction avec l'existence des divers systèmes d'unités en usage. On obtient en effet ces systèmes en imposant *arbitrairement* deux autres conditions aux facteurs K_1, etc., conditions choisies de manière à simplifier les formules usuelles.

Le système électromagnétique s'obtient en prenant

$$K_2 = K_3 = 1.$$

Le système électrostatique en prenant

$$K_2 = K_3 \quad K_1 = 1.$$

Helmholtz a posé

$$K_2 = 1 \quad K_1 = 1.$$

Enfin Maxwell a choisi

$$K_2 = v^2 \quad K_1 = 1. \quad \text{etc.}$$

Il est aussi légitime de s'imposer d'autres conditions : par exemple, comme M. Joubin et M. Lodge $K_3 = 1$, de manière à obtenir des formules de dimensions sans exposant fractionnaire pour la masse.

Par les mêmes procédés, on peut arriver aux systèmes absurdes :

$$[\mu] = [L] \quad [m] = [T] \quad [\mu] = [T]$$
$$[\mu] = [M] \quad [m] = [L] \quad [m] = [M].$$

Le vice évident de la démonstration consiste à donner du système de deux équations à quatre inconnues une solution qui est mathématiquement impossible.

Il est à remarquer d'ailleurs que ceci n'atteint en rien la valeur pratique des systèmes en usage.

M. L.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XX. Samedi 19 Août 1899 6e Année. — N° 33.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ (1)

Nous avons déjà eu l'occasion de signaler à nos lecteurs les ascenseurs électriques de la Compagnie SPRAGUE avec vis à billes LIEB. Ces appareils, qui s'adaptent aussi bien que les ascenseurs hydrauliques à pistons mouflés au service rapide des hautes maisons américaines, se sont rapidement répandus aux États-Unis, où ils sont de plus en plus en faveur. Nous donnons aujourd'hui, comme exemple d'une installation de ce genre, celle des ascenseurs de la maison de Park-Row (1), la plus haute de New-York, avec son corps de 26 étages et ses deux tours de 30 étages, ses 950 bureaux, sa population de 4 000 hommes et son courant journalier d'environ 20 000 visiteurs. Cette petite ville est desservie par 15 ascenseurs, dont 10 pour voyageurs, allant aux 25e et 26e étages, à 90 et 94 m, et groupés en demi-cercle comme l'indique la figure 1. L'un de ces ascenseurs, pour marchandises, va du sous-sol au 25e étage, avec une course de 107 m.

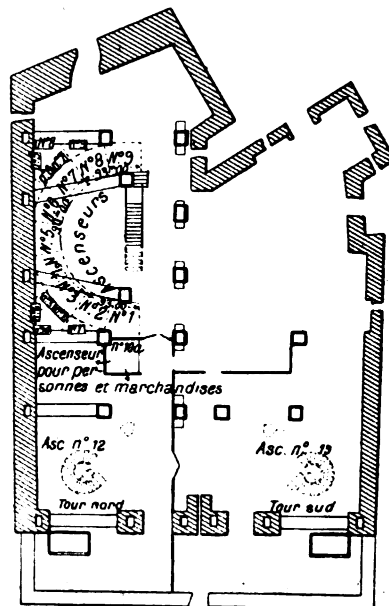


Fig. 1. — Plan d'ensemble des ascenseurs de Park-Row.

Les mécanismes et contrepoids de ces

(1) *Bulletin de la Société d'encouragement*, t. I, 5e série, p. 1532, novembre 1896.

(1) *L'Éclairage Électrique*, 22 juillet 1899, p. 81.

ascenseurs, sont logés dans les petits espaces triangulaires réservés derrière les cheminées des ascenseurs; ils sont tous semblables et établis d'après le principe indiqué schématiquement en figure 2. Chaque ascenseur comprend (fig. 2 et 3) une dynamo verticale actionnant directement une vis de 6,75 m de long filetée dans un écrou à billes Lieb (¹) dont l'étrier attaque un attirail de quatre

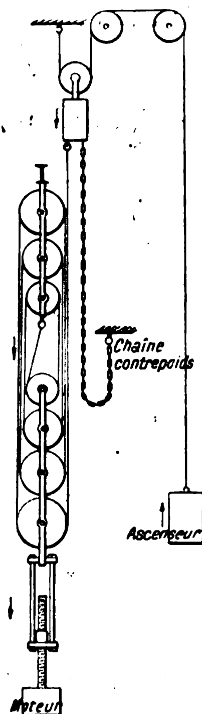


Fig. 2. — Ascenseurs de Park-Row. Schéma du mouflage.

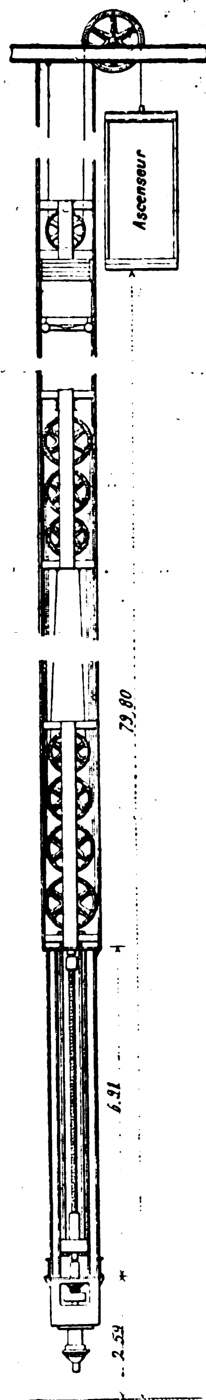


Fig. 3. — Ascenseurs de Park-Row. Ensemble du mouflage.

poulies mobiles, avec attirail réciproque de quatre poulies fixes, groupées par paires comme le montre la figure 5, et sur lesquelles est mouflé un cours de quatres câbles d'acier de 20 mm, amarrés au contre-poids de la cabine, qui est reliée à ce contre-poids par (fig. 4) un cours de six câbles en acier de 15 mm. Une chaîne attachée au contre-poids équilibre (fig. 1) la boucle des câbles de cabine qui

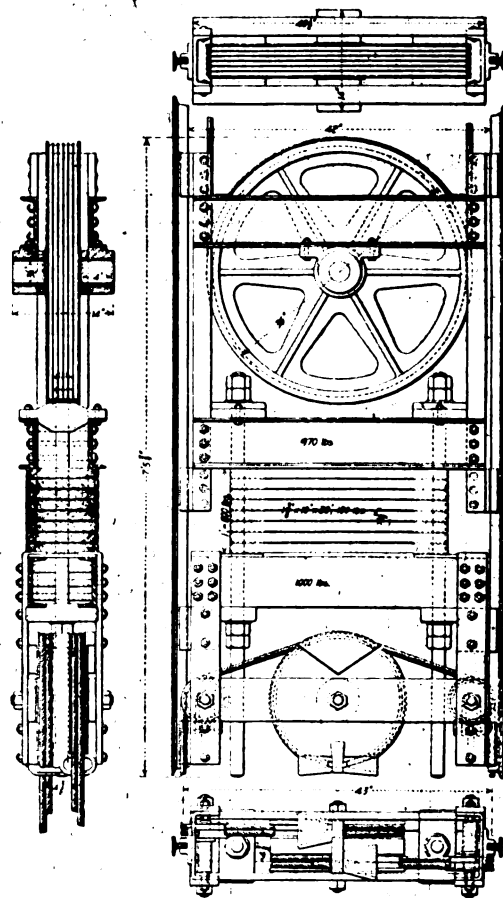


Fig. 4. — Ascenseurs de Park-Row. Détail du contrepoids.

monte et descend avec elle. La cabine marche ainsi 16 fois plus vite que l'écrou à billes. On remarquera, en figure 4, que les quatre câbles de cet écrou sont disposés par paires enroulés sur leurs poulies en sens contraires de manière à répartir uniformément leurs tractions de part et d'autre de l'axe de l'attirail. Les axes des poulies mouflées d'une portée, forcément étroite, sont (fig. 6) pourvus de trois rondelles en bronze phosphoreux, pour séparer

(¹) *La Lumière Électrique*, t. XLV, p. 310, 13 août 1892.

d'entre elles et des flasques de l'attirail les poulies, montées sur des bagues en acier trempé de 146 mm de diamètre × 105, roulant chacune sur 28 galets de 760 × 13, maintenus dans une cage en bronze. Le graissage se fait par un trou A, de 15 mm, avec canaux

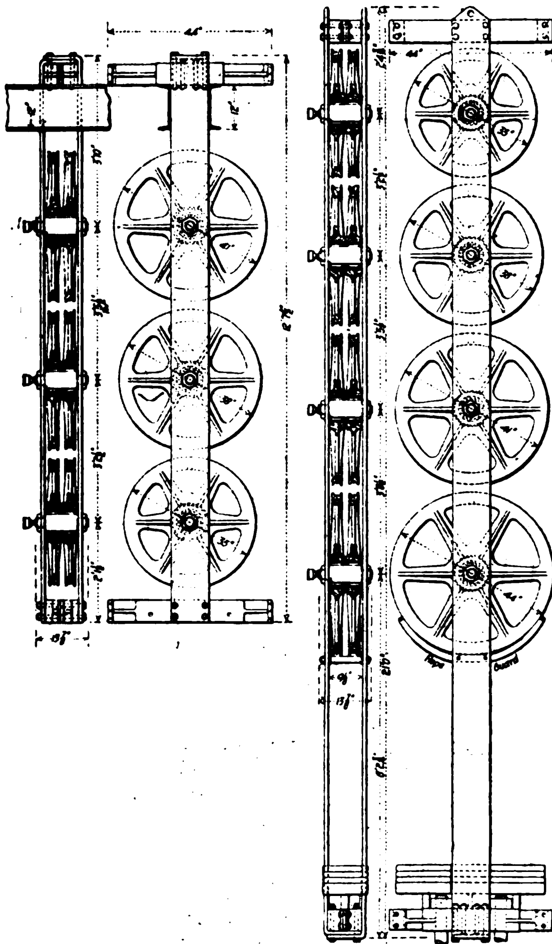


Fig. 5. — Ascenseurs de Park-Row. Détail du mouflage.

B et C, dans lesquels on refoule la graisse par le bouchon de fermeture D, à plongeur E.

L'écrou à billes Lieb est représenté par la figure 9. La vis, de 6,60 m de long, a 760 mm de diamètre au fond des filets et 103 mm au haut des filets : pas 32 mm; épaisseur des filets 10 mm, en acier forgé, d'une résistance de 90 kgr par mm² à la rupture par traction et non trempé. L'écrou bute sur son croisillon par une portée conique, dont le frottement l'empêche de tourner avec la vis; les billes en roulement de circulation le long de l'écrou ont 13 mm de diamètre et peuvent supporter une pression de 11 000 kgr sans

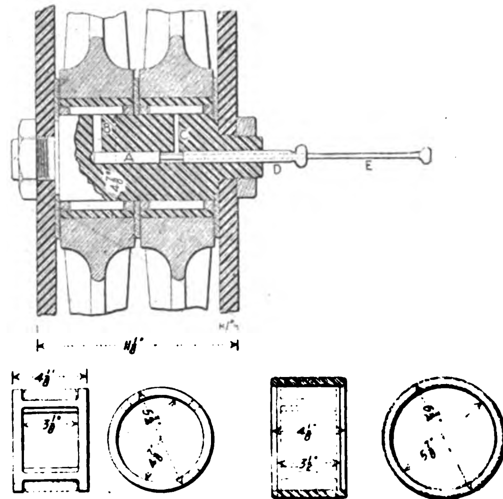


Fig. 6. — Ascenseurs de Park-Row. Graissage des poulies du mouffle.

s'écraser : la pression en marche ne dépasse pas 9 kgr. Comme le savent nos lecteurs [1] l'écrou Lieb est en deux pièces CC, dont celle de droite, ou écrou de sûreté, à filets plus profonds, sans billes, et d'ordinaire dégagée de la vis, vient, en cas de rupture de la partie gauche, au contact de cette vis qui, l'entraî-

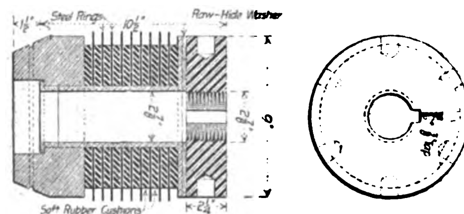


Fig. 7. — Ascenseurs de Park-Row. Butée supérieure de la vis.

nant par son frottement, arrête l'avancement de la vis et immobilise la cabine. Enfin, si la cabine vient à s'arrêter pendant sa descente par un accrochage aux glissières, et cesse ainsi d'appuyer l'écrou sur son étrier, les ressorts indiqués entre les deux parties CC

[1] *La Lumière Électrique*, 4 juin 1892, p. 456.

de cet écrou pressent sur la vis la partie de droite et arrêtent, comme nous venons de le voir, le déroulement du câble.

Après la vis, vient, sur le prolongement de son axe, une poulie de frein de 460 × 196, à bande d'acier, avec sabots en bois de 140 × 13, qui se serre dès que la dynamo s'arrête par la rupture de son circuit et de celui des solénoïdes qui commandent ce frein; le mécanisme s'arrête ainsi rapidement et sans choc.

La dynamo est à quatre pôles, du type cuirassé, avec balais en charbon, montée en série

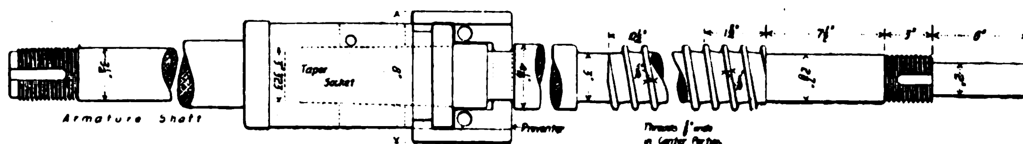


Fig. 8. — Ascenseurs de Park-Row. Ensemble de la vis.

et dérivation, cette dérivation étant commandée par le commutateur de la cabine.

La butée de l'arbre de la vis, toujours tiré de bas en haut, est reçue par un plateau de bronze à galets disposés (fig. 11) ([1]) en spirales, pour couvrir toute la surface de la plaque fixe sur laquelle ils roulent, et, au-dessous de cette butée, s'en trouve une autre, analogue mais plus petite, pour recevoir le poids de l'axe au repos ou en cas d'accident. Le tout est enfermé dans une enveloppe de fonte qui forme bain d'huile, et l'arbre de la vis se ter-

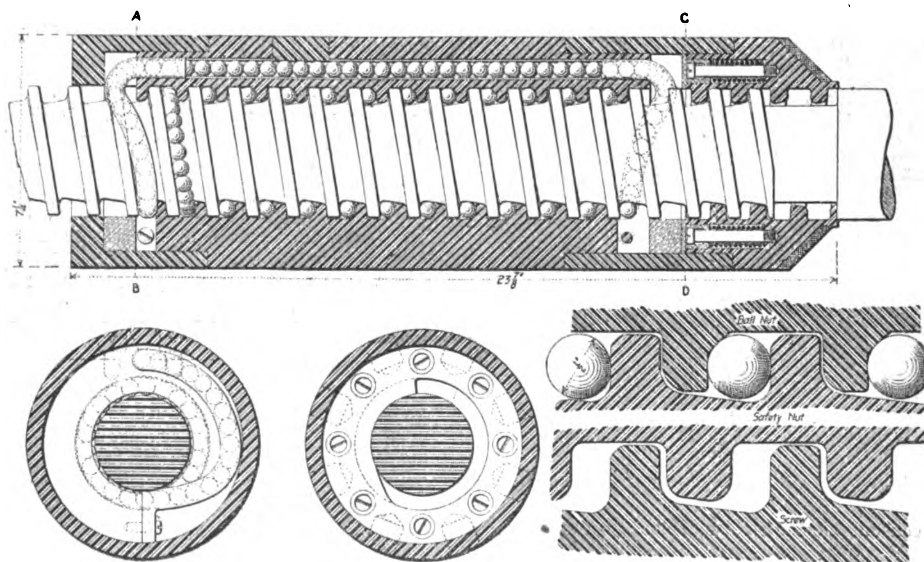


Fig. 9. — Ascenseurs de Park Row. Détail de l'écrou Lieb.

mine à sa partie supérieure par une butée élastique (fig. 7) qui arrêterait sans choc une course trop prolongée de l'écrou.

Le commutateur de la cabine est relié par un câble à 6 fils au tableau de l'ascenseur, logé dans le sous-sol : deux des fils de ce câble servent à l'éclairage de la cabine, le troisième commande la montée, le quatrième la descente, le cinquième l'arrêt, le sixième le commutateur de la cabine. Au tableau se trouve, en haut (fig. 12) la dynamo pilote ou servo-motrice, caractéristique du système Sprague ([1]),

([1]) *Bulletin de la Société d'encouragement*, t. I, 5e série, p. 1546, novembre 1896.

([1]) *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 486, 12 décembre 1896, et *La Lumière Électrique*, t. LIII, p. 17, 7 juillet 1894.

avec, au-dessous d'elle, quatre solénoïdes, puis trois interrupteurs automatiques commandant les freins et les différentes fonctions de l'ascenseur. Par exemple, si l'on place la manette du commutateur de cabine sur (fig. 12) la partie de son quadrant, marquée « *Montée* » les solénoïdes du tableau

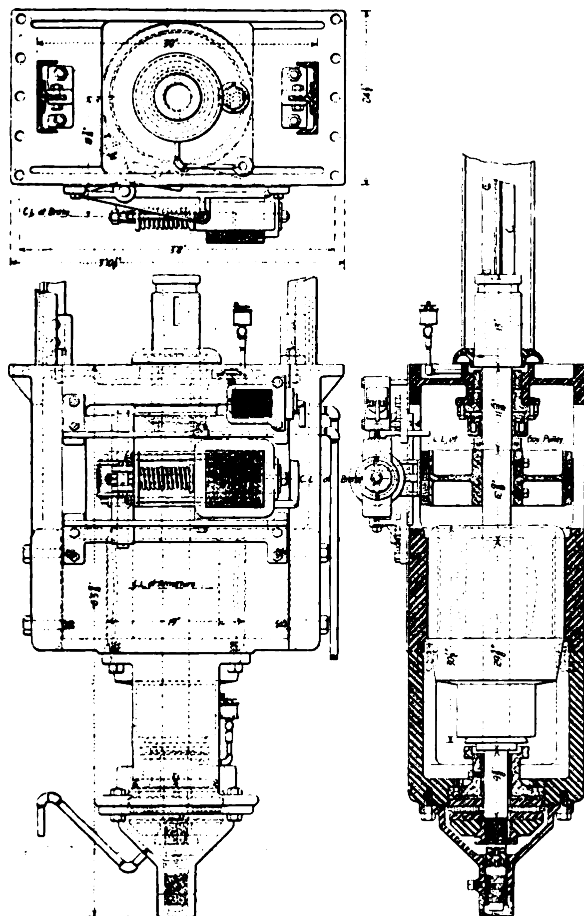


Fig. 10. — Ascenseurs de Park-Row. Ensemble du moteur.

envoient dans l'armature du moteur principal un courant juste suffisant pour l'empêcher de tourner, et, dans celle du moteur pilote, de quoi la faire tourner en entraînant le bras d'un rhéostat de manière à augmenter graduellement la puissance du moteur principal, qui démarre ainsi graduellement. Pour arrêter, il suffit de lâcher le manipulateur de la cabine, qui, rappelé par un ressort, coupe le circuit du moteur et celui du frein, puis commue le circuit du moteur pilote de manière à ramener le bras du rhéostat à sa position

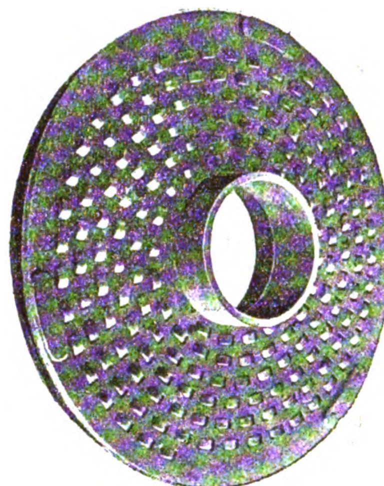


Fig. 11. — Ascenseurs de Park-Row. Détail d'une butée.

primitive. Quand la cabine descend, l'armature du moteur principal est d'abord mise en court-

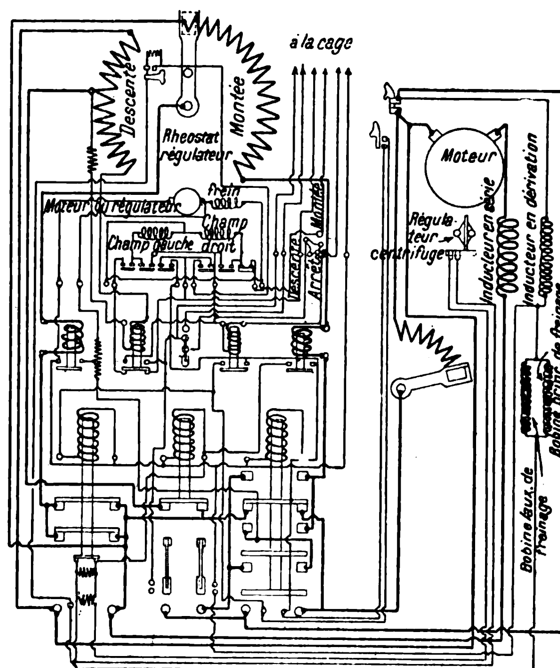


Fig. 12. — Ascenseurs de Park-Row. Schéma des circuits.

circuit, puis graduellement réintercalée dans le circuit par le moteur pilote, et, à l'approche du bas de course, au fond du puits, le moteur

principal est relié à un circuit spécial dont le courant l'arrête graduellement.

La cabine est en outre pourvue de taquets d'arrêts commandés par un régulateur à force centrifuge de la cabine et dont la poulie est entourée par une corde tendue du haut en bas du puits.

Le courant est fourni par trois machines à vapeur compound Dick et Church, à cylindres de 390 et 430 × 460, actionnant chacune directement une dynamo Westinghouse de 1 665 ampères 120 volts et par une quatrième compound auxiliaire à dynamo de 120 volts 250 ampères environ. On compte sur une dépense de 1,5 kilowatt-heure environ par cabine kilomètre, inférieure à celle des ascenseurs hydrauliques équivalents, qui ne sont ni plus rapides ni plus sûrs et, présentent l'inconvénient de ne pas être, en général, indépendants les uns des autres, mais com-

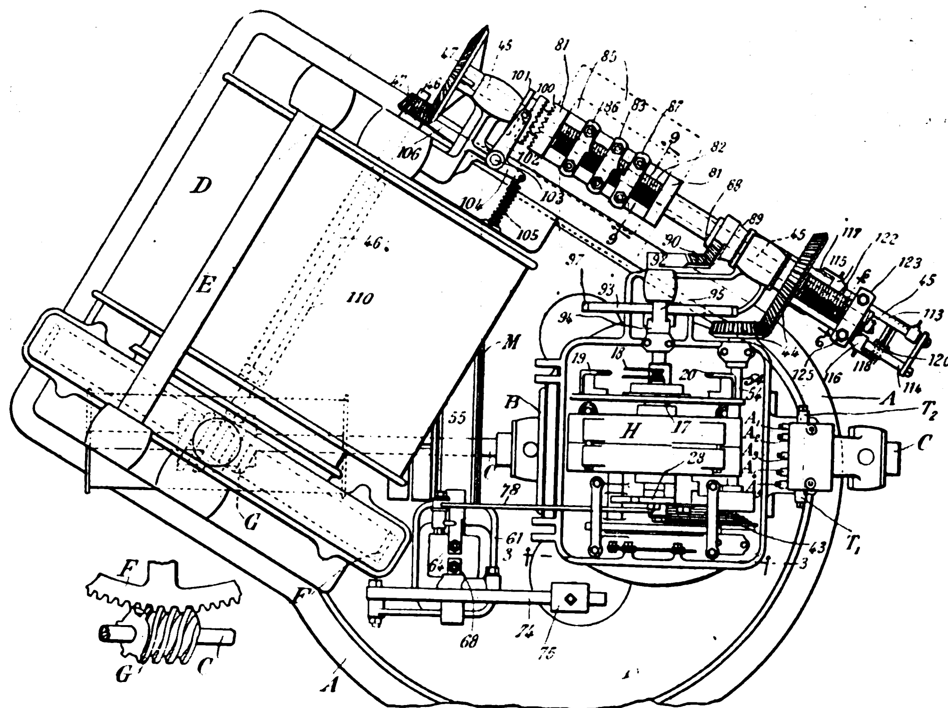


Fig. 13 et 14. — Ascenseurs Heermans et Whichello, 1899. Plan d'ensemble du mécanisme. Détails de la transmission hélicoïdale FG.

mandés par deux ou trois pompes, dont l'arrêt total et partiel serait désastreux parce qu'il paralyserait tous les ascenseurs ou plusieurs d'entre eux à la fois [1].

L'ascenseur de MM. Heermans et Whichello, dont on a représenté en B (fig. 13) la dynamo principale ou motrice, commandant par une transmission hélicoïdale droite CD le treuil D, est aussi réglé par une dynamo auxiliaire H (fig. 13 et 23) avec armature Siemens 14, à pôles *c* et *d* (fig. 15) inducteur 15, à pôles *a* et *b*, pôles reliés aux contacts C_5 (fig. 24) de la cabine. L'arbre 17 de l'armature 14 porte (fig. 13, 16 et 23) le bras 18, qui ouvre ou ferme, par les contacts 19 et 20, le circuit du moteur principal, et un second bras 21, à touches 22, 23, pour les contacts 24, 25, 26, 27 du commutateur 16, qui commande le changement de la marche du moteur. A l'autre bout de cet arbre, se trouve une came 28, 29, 30 (fig. 15) ; un levier 31 porte un bras 41, constamment appuyé par

[1] *Engineering News*, 27 avril 1899.

son contre-poids 32 sur la came 28, et s'appuie par son taquet ajustable 33 sur le talon 34 d'un levier à trois bras 34, 37, 39, pivoté en 36, dont le bras 37 porte une série de contacts 38, à touches J, K, pour régulariser la marche du moteur, et que le contre-poids 40 de 39 rappelle sans cesse dans la position figurée. Les contacts 38 sont avancés, malgré le contre-poids 40, par une série d'excentriques 43, montés sur un arbre 54 commandé (fig. 13) par le train 46, 47, 45, 44, et dont les tiges 42 s'enclenchent (fig. 15) avec un épaulement 42′ de 35, de manière à repousser graduellement les bras 38, et à les maintenir jusqu'à ce que le levier 48, 49, 50, à taquet réglable 51, vienne, repoussé par la came 28, déclencher toutes les tiges 42 de 42′, et permettre au contre-poids 40 de ramener tous les bras 38 à leurs positions primitives. Sans insister davantage sur le détail de cet ingénieux mécanisme, ce qu'il suffit de retenir pour le moment, c'est, qu'une fois avancés sur les touches J, K, les contacts 28 *y* restent jusqu'à ce que la dynamo régulatrice fasse tourner 28 de manière à repousser 48 par 49.

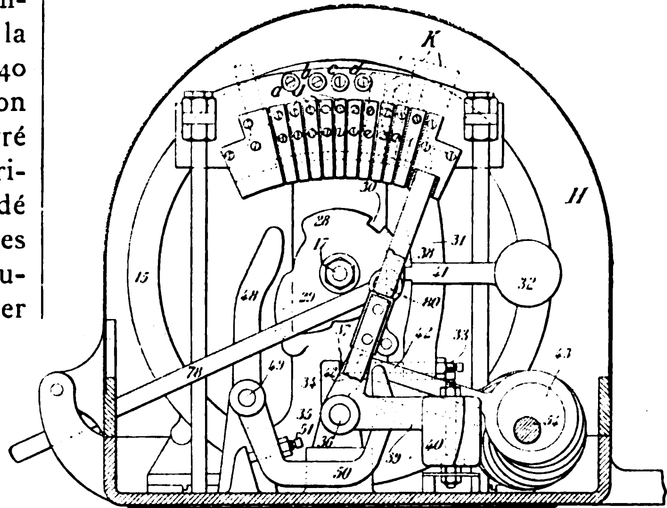


Fig. 15. — Ascenseurs Heermans et Whichello. Détails du commutateur.

Le frein M se compose (fig. 22) de deux mâchoires 55 et 56, à pivots 57, 58, réglables

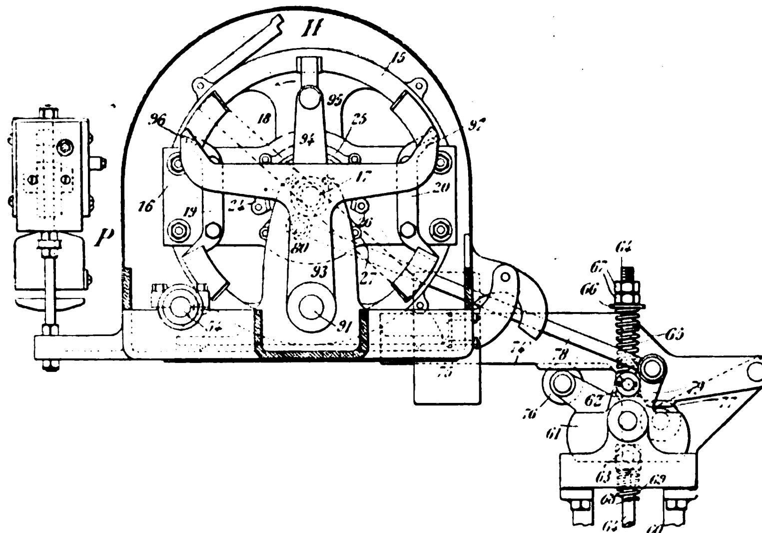


Fig. 16. — Ascenseurs Heermans et Whichello. Détail du frein.

par la vis 59, et reliées aux tiges 68 et 64, suspendues aux extrémités d'un balancier 61 par des ressorts ajustables, qui, lorsque le balancier 61 est horizontal, serrent le frein sur le volant M du moteur, et le desserrent quand on incline 61 dans un sens ou dans l'autre.

Le balancier 61, sans cesse (fig. 16) rappelé dans sa position horizontale par un levier 74, à contre-poids 75 qui l'appuie sur les galets 76 et 77, est commandé par la came 28, au moyen du renvoi 80, 78, 79 (fig. 15 et 16).

L'arrêt de l'ascenseur est commandé (fig. 13)

de l'arbre 45, par un écrou 83 (fig. 21) en prise avec le manchon fileté 82, et guidé par sa glissière 84, prise dans une rainure du châssis 81, 85 fou sur 45, et maintenu vertical par

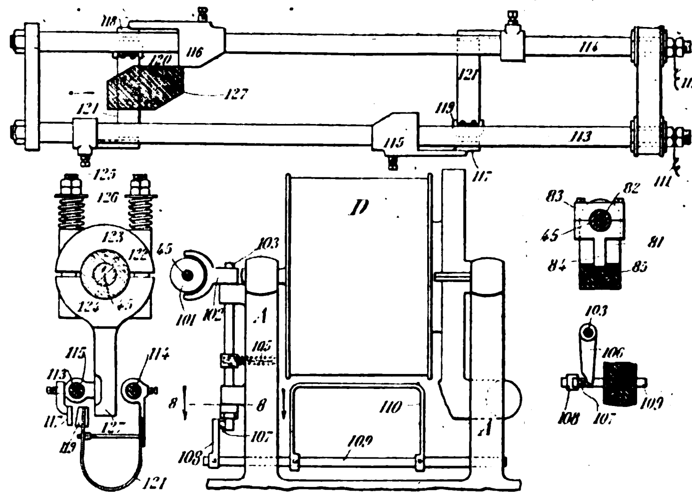


Fig. 17 à 21. — Ascenseur Heermans et Whichello. Détails.

son contrepoids 85. L'écrou 83 voyage ainsi entre deux tocs 86 et 87, réglables sur 81 de

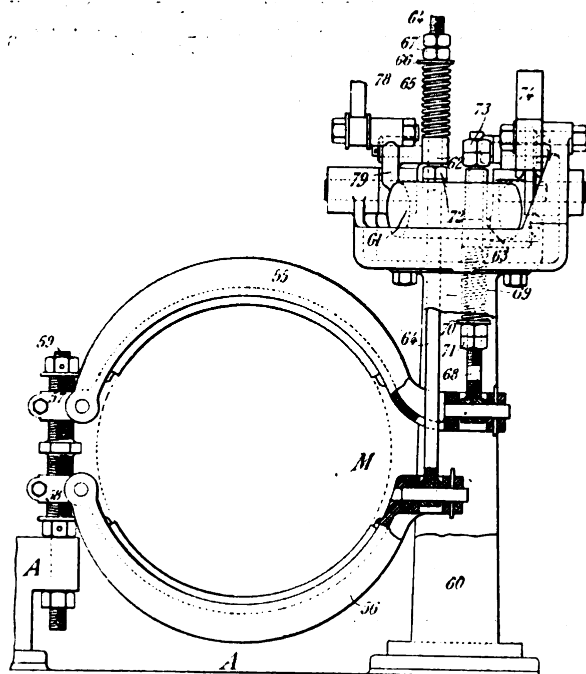


Fig. 22. — Ascenseurs Heermans et Whichello. Détail du frein.

manière qu'il les rencontre aux bouts de courses de la cabine et les entraîne dans sa rotation, avec les châssis 81, qu'il amène dans l'une des positions indiquées en pointillés (fig. 13). Cette rotation commande par 89, 88, 90, 91 celle de l'arbre 91 (fig. 16) dont le bras 93 repousse, par 96 ou 97, le bouton 95 du levier 94, calé sur l'arbre de la dynamo régulatrice, et le fait pivoter de manière à arrêter le moteur en coupant comme nous l'avons vu son circuit et en serrant le frein. Si le surveillant de la cabine a déjà accompli cette opération avant l'arrivée tout au bout de sa course, les taquets 96 ou 97 n'agissent que pour empêcher 94 de revenir en arrière, de sorte que la dynamo pilote ne peut plus tourner que dans le sens voulu pour monter ou descendre la cabine selon qu'elle sera arrêtée au bas ou en haut de sa course.

D'autre part, dès que les câbles du treuil viennent à se relâcher, ils appuient sur l'étrier 110 (fig. 19) dont l'arbre 109 déclenche par 108, 107 (fig. 20) le levier 106 de l'arbre 103, dont le levier 104 (fig. 13) rappelé par le ressort 105, embraye alors avec 81 la griffe 100, rainurée sur 45, qui arrête aussitôt l'ascenseur par le mécanisme que nous venons de décrire.

Afin de pouvoir arrêter le moteur graduellement de manière à éviter les chocs dus à

l'inertie de la cabine, on introduit dans le circuit en dérivation de ce moteur des résistances auxiliaires N (fig. 23 et 24) reliées par 111 et 112 aux barres 113 et 114, isolées l'une de l'autre et portant chacune (fig. 17) un contact 117, 118, réglable en 115 et 116, avec touches 119, 120 (fig. 18) permettant de relier les barres 113 et 114 par leur ressort 121. L'arbre

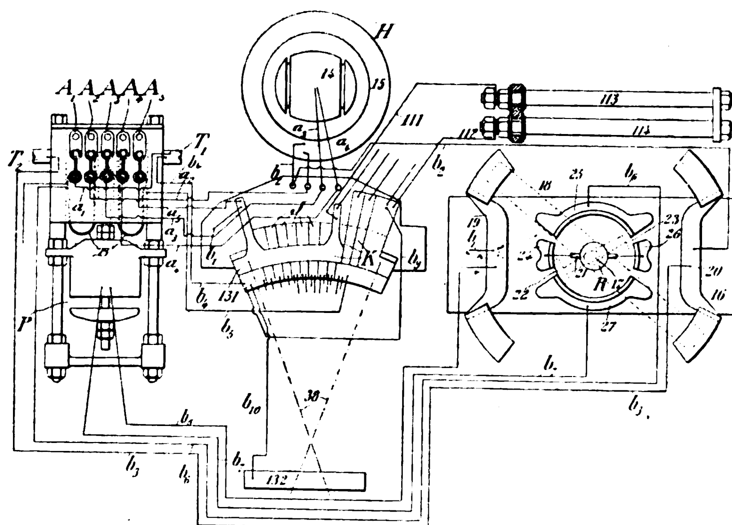


Fig. 23. — Ascenseur Heermans et Whichello. Schéma des circuits du tableau.

45 porte (fig. 13 et 18) à son extrémité de droite une vis 122, sur laquelle est serrée, par les ressorts 126, l'écrou en deux pièces 123, 124, que son prolongement 127 empêche de tourner : quand on arrive aux fonds de courses, ce prolongement, dévié par les blocs 115 ou 116 ferme le contact 119 ou 118, et coupe ainsi les résistances N de la dériva-

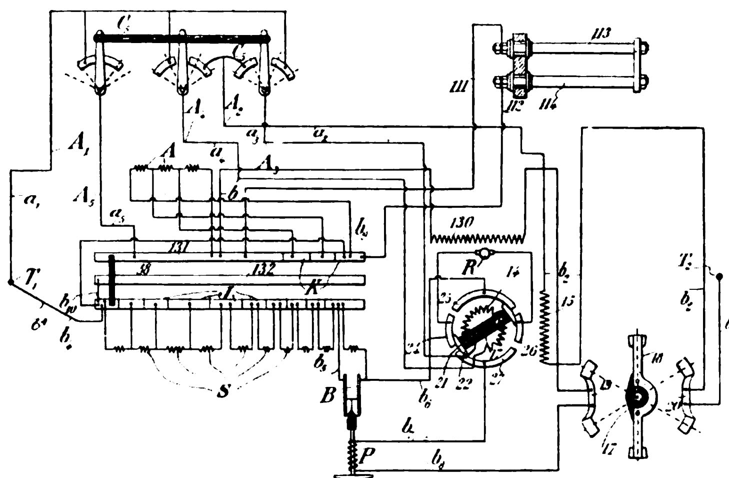


Fig. 24. — Ascenseurs Heermans et Whichello. Schéma général des circuits.

tion du moteur, qui s'arrête graduellement.

Nous signalerons encore en P (fig. 16 et 23) un électro-aimant destiné à augmenter la puissance du moteur en cas de surcharge. A cet effet, les bornes de cet électro sont (fig. 23 et 24) reliées par b_8 et b_9 aux contacts 19 et 27 : quand cet électro est suffisamment excité, il attire son armature isolante, qui,

séparant les contacts B, introduit dans le circuit b_6 b_7 les résistances S.

Voici maintenant comment fonctionne l'ascenseur, étant donné que l'enroulement dérivé 130 de l'inducteur du moteur est en série avec les résistances N, et son enroulement principal en série avec les résistances S. Les bornes T et T' du circuit principal moteur aboutissent à un tableau de fiches A_1 A_2 A_3 A_4 (fig. 23) disposé dans la cabine et désigné par C_8 en figure 24). La cabine étant au bas de course, le conducteur tourne son manipulateur de manière à relier A_1 avec A_4 et A_5 et A_2 avec A_3. Le courant passe alors de T_1, par a_1 A_1 A_4 a_4, à l'armature 14 de la dynamo régulatrice, puis, par a_3 A_3 A_2 a_2 à l'inducteur 15 du moteur, et par b_2, 20, b_3 à T_2. La dynamo régulatrice tourne et ferme par 18 et 21 le circuit de la dynamo motrice, en même temps que la came 28 permet, comme

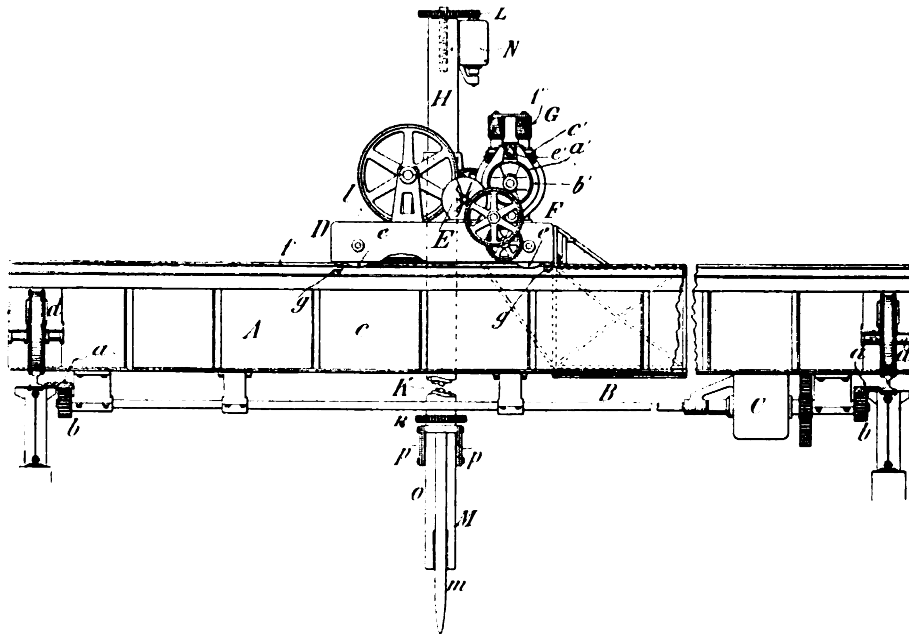


Fig. 25. — Grue à lingots Shaw (1899). Elévation.

nous l'avons vu, aux excentriques de manœuvrer les contacts 38 sur les touches J et K, qui mettent graduellement en train le moteur, dont la marche s'accélère à mesure que ces excentriques entrent en jeu. En ce moment une partie, une portion de l'inducteur du moteur est shunté de T_1 par a_1 A_1 A_5, 131, b_1, l'enroulement dérivé 130, 19, 18, 20, b_3 T_2. de sorte que le démarrage s'opère lentement. Pour l'accélérer, il suffit, de séparer A_1 de A_5 et d'introduire les résistances N dans la dérivation. La rotation de la dynamo directrice, ferme ensuite par 18 le circuit en 19, 20, et aussi en 22, 23 de sorte que le courant passe de T_1 b_4 : 1° par b_8, N, 131, b_1, à la dérivation 130, 19, T_2, et 2°, par S, b_5 b_6, 25, 23, 26, l'armature R, 24, 22, 27, b_7, P, b_8 19 et T_2 faisant marcher le moteur à pleine puissance. Pour arrêter, il suffit de séparer A_1 de A_2, ce qui détermine, comme nous l'avons vu le serrage automatique du frein par le levier 74. Pour renverser la marche du moteur, on n'a qu'à relier A_1 à A_3 et A_2 à A_4, ce qui renverse la marche de la dynamo directrice et, par suite, celle du moteur; et, dans un sens ou dans l'autre, le frein et les appareils d'arrêt fonctionnent comme nous l'avons expliqué plus haut dès que le conducteur lâche son manipulateur.

Nous avons eu plusieurs fois l'occasion de décrire les grues et ponts roulants de la Com-

pagnie Shaw, de Muskagon [1]; le pont roulant pour forge représenté par les figures 25 à 39 est remarquable par la facilité, la sûreté et la précision de ses manœuvres.

Le roulement du pont A sur ses rails est commandé de la dynamo C, par son arbre B et deux pignons sous les crémaillières *a a* (fig. 26), disposées de manière à empêcher le pont de se soulever sur ses rails, et ses poutres *cc* ne sont reliées entre elles qu'aux extrémités par

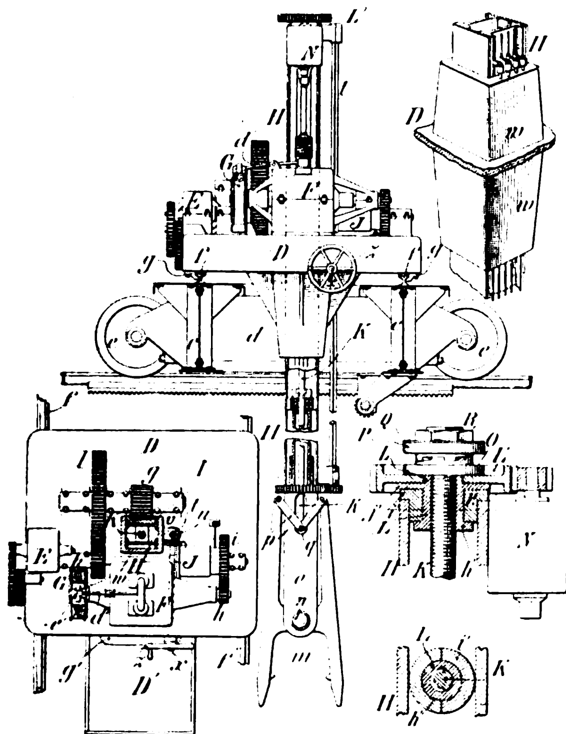


Fig. 26 à 30. — Grue Shaw. Détail du chariot.

des traverses *dd*, de manière à laisser toute liberté au chariot D de circuler d'un bout à l'autre du pont sur ses rails *f*, où il est retenu par les gardes *g* (fig. 26). Comme ce chariot porte la plate-forme du mécanicien, ce qui facilite beaucoup le service et la surveillance des mécanismes, il a fallu adopter, pour lui permettre de commander de ce poste mobile les différentes dynamos, toutes indépendantes en série et réversibles par la commutation du courant d'armature, des dispositions spéciales de circuits, indiquées au schéma

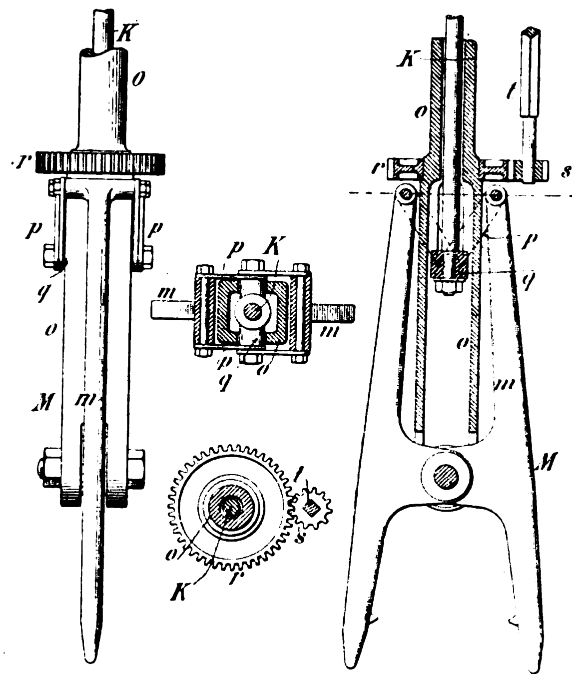
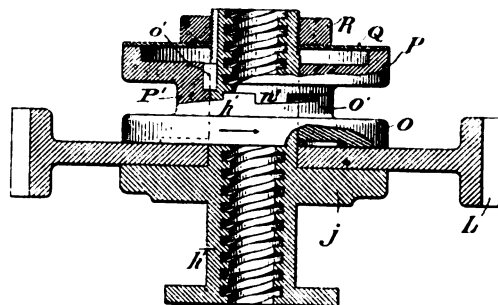


Fig. 31 à 34. — Grue Shaw. Détail de la pince.

(fig. 38) sur lesquelles nous insisterons tout à l'heure.



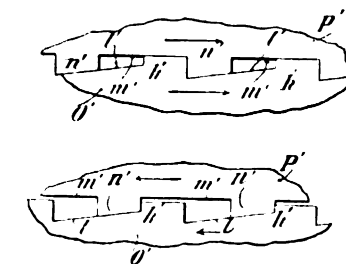


Fig. 35 à 37. — Grue Shaw. Détail.

La dynamo E commande le roulement du chariot D par le train d'engrenages de l'une

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 246, 11 mai 1895.

des roues *e*. La dynamo F, qui commande le levage, est pourvue d'un frein électro-magnétique G, à sabots *b' b'* (fig. 25 et 26), ordinairement serrés par les ressorts *c'* sur son tambour *a'*, et écartés par le coin *e'* du levier *d'*, quand l'armature *f'* de son électro-aimant *f'*, en série avec F', attirant *d'*, enfonce *e* entre

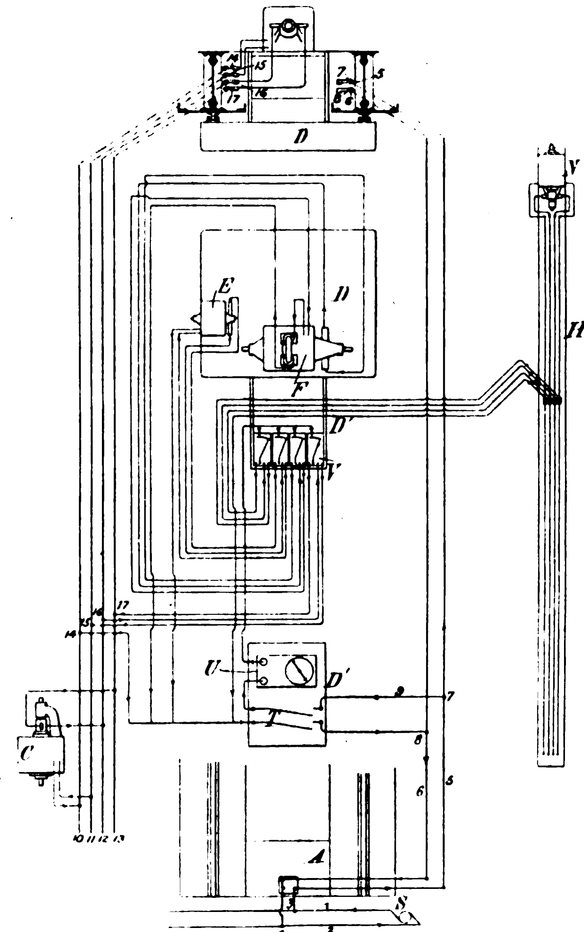


Fig. 38. — Grue Shaw. Schéma des circuits du chariot.

les sabots. La dynamo soulève sa charge par la crémaillère I de la barre H et le train *hiklg*. Quand la charge descend, *f'* étant en série dans le circuit de F', le frein G est desserré, et le réglage de la descente s'opère par un frein automatique à bande J. Le lingot est saisi par des pinces M (fig. 31) articulées sur l'axe O, que l'on peut faire tourner par (fig. 26) la manette *z*, le renvoi *xy*, le pignon *u*, le carrelet *t* et les pignons *r*, *s*, de manière à bien présenter la pince au lingot. Quant au serrage de la pince sur le lingot, il est commandé par une dynamo N qui fait par le pignon L' (fig. 26) tourner l'écrou L (fig. 29 et 35) fileté sur la tige K par laquelle il ouvre ou ferme M au moyen du genou *p*; et, pour limiter ce serrage, le pignon L entraîne son écrou K par son frottement sur la bride *j'* de cet écrou, frottement

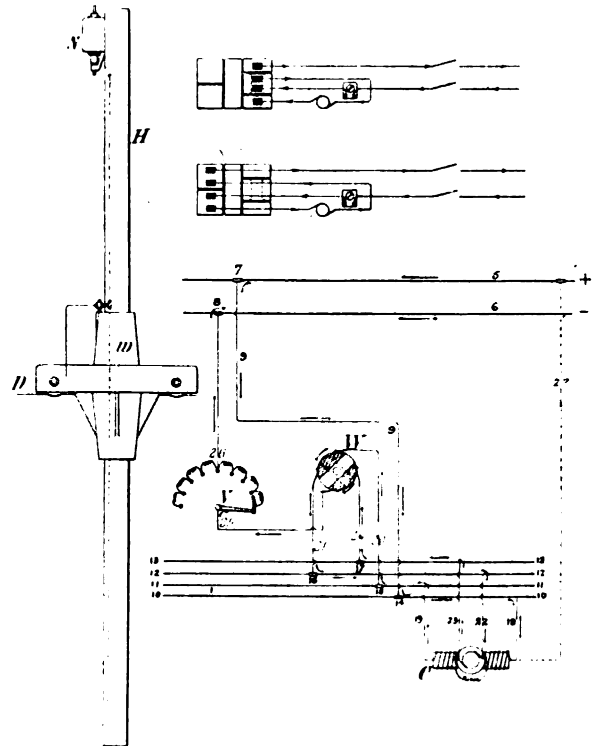


Fig. 39 à 41. — Grue Shaw. Schéma général des circuits.

réglé au moyen de l'écrou R, par la pression qu'exerce sur L le plateau O du manchon O', poussé par le manchon P', rainuré sur K en *o'*, et chargé par le ressort Q. Quand on renversera la marche de la dynamo N de façon à faire tourner L dans le sens de la flèche du bas de la figure 37, L entraînera avec lui le manchon OO' ce qui, par la montée des dents *n'* de P' sur les plans inclinés *l* de O', tendra le ressort Q, et augmentera le serrage de O sur L assez pour lui faire entraîner l'écrou K et desserrer les pinces à coup sûr, malgré leur collage au lingot.

Passons maintenant à la description des circuits. L'énergie électrique est fournie par une dynamo continue J (fig. 38) aux deux conducteurs principaux 1 et 2 qui vont tout le long de la voie du pont qui leur prend contact avec les trôlets 3 et 4 des fils 6 et 5, reliés au chariot D par les trôlets 7 et 8, aboutissant par 9 au tableau T, avec un ampèremètre U et autant de rhéostats V et de commutateurs W (fig. 39) qu'il y a de dynamos indépendantes et réversibles : quatre dans le cas actuel, et reliées par les contacts 14, 15, 16, 17 aux quatres fils ou barres 10, 11, 12, 13 de l'autre côté du pont. Le courant passe (fig. 39) de 1, par 7, 9, 14, 10, 18, aux inducteurs de la dynamo C, puis par 15, 20, W, 21, 12, 22 à l'armature de C, d'où il revient à 2 par 23, 13, 17, 24, W, 25, V, 26, 6 et 4 de sorte qu'il suffit de tourner W pour changer (fig. 40 et 41) le trajet du courant dans l'armature du moteur et en renverser la marche. La dynamo N de la barre H est ainsi reliée au tableau par quatre conducteurs à contacts glissants *w* (fig. 27 et 38).

(*A suivre.*)

G. RICHARD.

ÉTUDE SUR LA TRANSMISSION ET LA DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE

PAR LES COURANTS ALTERNATIFS (1)

CINQUIÈME PARTIE

TRANSFORMATEURS REDRESSEURS

III. — TRANSFORMATEUR-REDRESSEUR POUR COURANT ALTERNATIF SIMPLE, DÉBITÉ SOUS VOLTAGE CONSTANT.

La solution précédente n'est plus applicable, car, dans ce cas, c'est le flux développé dans le noyau du transformateur qui variera suivant une loi sinusoïdale. Toute mise en court-circuit opérée à un moment où la dérivée du flux ne serait pas nulle entraînerait nécessairement la production d'un courant parasite très intense dans le circuit fermé sur lui-même. Il en résulterait de grandes pertes d'énergie et de fortes étincelles au balai.

Nous avons adopté la solution suivante (fig. 41) :

Un collecteur C a ses touches successives séparées par des isolants assez larges pour qu'un balai ne puisse s'appuyer simultanément sur deux d'entre elles.

Autour de ce collecteur peuvent se mouvoir deux systèmes de frotteurs F_1, F_2 composés de deux balais α, β, décalés l'un par rapport à l'autre, de telle manière que l'un d'eux s'appuie toujours sur une touche, et reliés par une résistance comme s'il s'agissait du contact mobile d'un réducteur pour accumulateurs.

Nous disposerons circulairement une série de batteries d'accumulateurs *ac*, *ac*, ..., ou plutôt de condensateurs électrolytiques, car ils n'ont besoin d'avoir aucune capacité appréciable, comme il est représenté sur la figure 41. Les points de jonction des batteries sont reliés aux touches consécutives du collecteur.

Deux de ces points de jonction diamétralement opposés A et B servent de point de départ à deux conduites AAE, BBE qui devront distribuer du courant continu.

Enfin, les frotteurs F_1, F_2 sont reliés par l'intermédiaire de bagues et de frotteurs aux extrémités du circuit secondaire d'un transformateur T.

Soit α la fréquence des courants alternatifs fournis par ce transformateur ; nous ferons tourner les frotteurs F_1, F_2 avec la vitesse α.

(1) *L'Éclairage Électrique*, du 12 août 1899, p. 206.

Supposons le problème résolu. Si une différence de potentiel constante H est développée entre les points A et B, les divers accumulateurs se chargeront, comme il est représenté sur la figure 41, par des signes + et —.

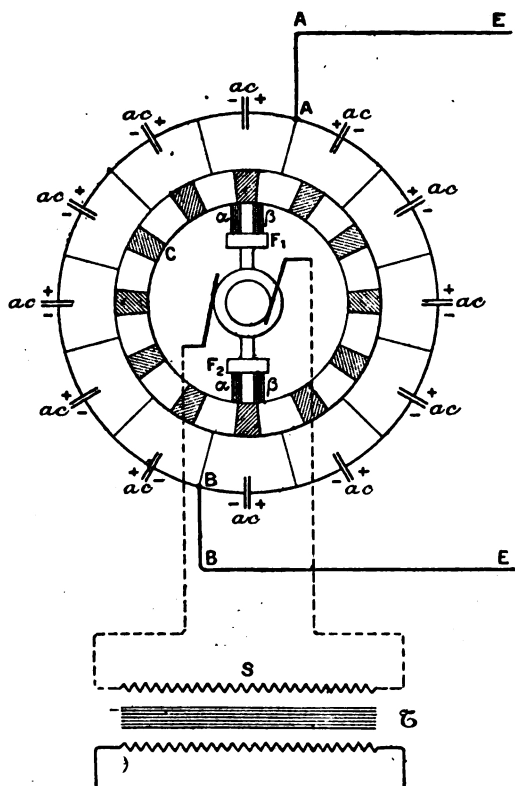


Fig. 41.

Si les frotteurs F_1, F_2 tournent, la différence de potentiel développée entre eux variera suivant une loi périodique. Elle sera maximum et égale à H lorsqu'ils s'appuieront respectivement sur les touches en relation directe avec les points A et B. Elle sera nulle lorsqu'ils auront tourné de 90° et deviendra égale à H lorsqu'ils auront tourné de 180°,...

La loi de variation en fonction du temps de cette différence de potentiels peut être représentée par la ligne brisée de la figure 42, en supposant que le collecteur ait 24 touches.

On conçoit immédiatement que, en donnant des nombres variables d'éléments aux différentes batteries *ac*, *ac*,... reliées au collecteur, mais en faisant toujours en sorte que deux batteries comprises entre des touches diamétralement opposées du collecteur soient identiques, on pourra modifier à volonté la

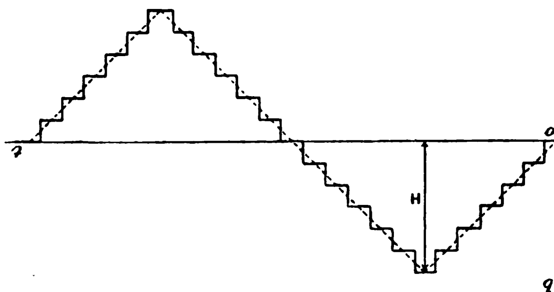


Fig. 42.

loi de variation de la différence de potentiel développée entre les balais F_1, F_2. En particulier, il sera possible de disposer les milieux des branches horizontales de la ligne brisée de la figure 42 sur un arc sinusoïde, comme il est représenté sur la figure 43.

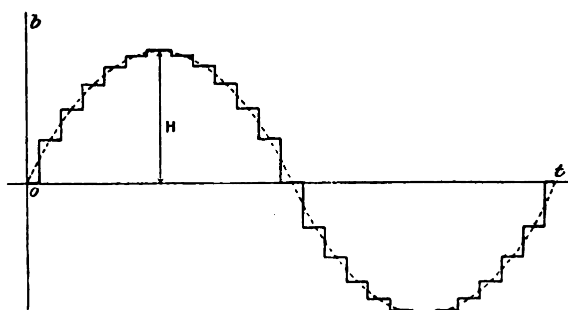


Fig. 43.

Dans ces conditions, la loi de variation de cette différence de potentiels se rapprochera d'une loi sinusoïdale, d'autant plus que le nombre de divisions du collecteur sera plus grand.

Si un courant débité par les frotteurs F_1 et F_2 (voir fig. 41) se ferme à l'extérieur, il devra surmonter une force électromotrice variant en fonction du temps suivant une loi sinusoïdale. Si la source de force électromotrice qui provoque son passage est elle-même de forme sinusoïdale et de même fréquence, il lui prendra de l'énergie qu'il déversera successivement dans les différents groupes d'accumulateurs.

Ces derniers serviront non seulement d'agents de transformation. mais aussi de réservoirs momentanés d'énergie. En effet, étant ainsi chargés, ils recevront une quantité d'énergie périodiquement variable, tandis que leur décharge dans les conduites AE et BE (fig. 41) se fera d'une manière continue.

Le transformateur T fonctionne comme s'il travaillait sur de simples résistances, et les variations de flux dont il est le siège n'ont aucune influence sur la commutation.

Les divers groupes d'accumulateurs sont fermés successivement sur eux-mêmes, mais rien n'est plus facile, comme nous l'avons vu, que d'introduire une résistance dans chaque circuit local fermé sur lui-même et de limiter l'intensité du courant débité par les éléments qui en font partie. La self-induction d'un semblable circuit étant pratiquement nulle, la rupture de ce courant ne pourra pas donner naissance à des étincelles.

Cette méthode résout d'une manière générale le problème de la transformation des courants alternatifs en courant continu et sa réciproque. Malheureusement, elle comporte l'emploi d'appareils qui n'ont pas été suffisamment expérimentés jusqu'ici. C'est pourquoi nous avons donné une autre solution applicable au cas d'un courant alternatif simple d'intensité constante et nous allons décrire un transformateur rotatif spécial qui nous paraît très avantageux lorsqu'il s'agit de redresser des courants alternatifs simples débités sous voltage constant, et dont le moment d'inertie permettra d'emmagasiner momentanément la quantité d'énergie voulue.

Transformateur rotatif. — La figure 44 représente une vue de ce transformateur.

Il se compose de deux anneaux AA, BB que nous supposerons du genre Gramme, montés sur un même axe OO ainsi qu'un collecteur CC sur lequel s'appuient les balais F, F, ... qui serviront à recueillir le courant continu développé.

L'anneau AA tourne à l'intérieur d'un inducteur DD de machine asynchrone à courant alternatif simple. La vue par bout de la

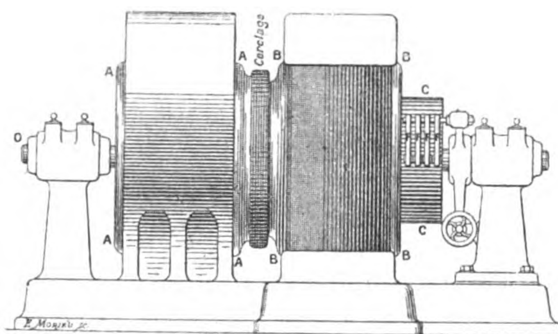


Fig. 44.

figure 45 montre comment est disposé l'enroulement *d* de cet inducteur. Elle montre en même temps comment sont découpées les

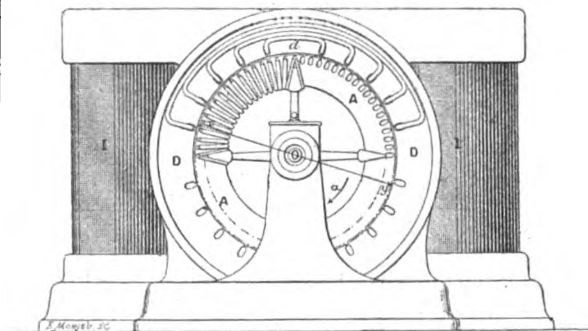


Fig. 45.

tôles entrant dans la composition des anneaux AA et DD.

L'anneau BB constitué avec les mêmes

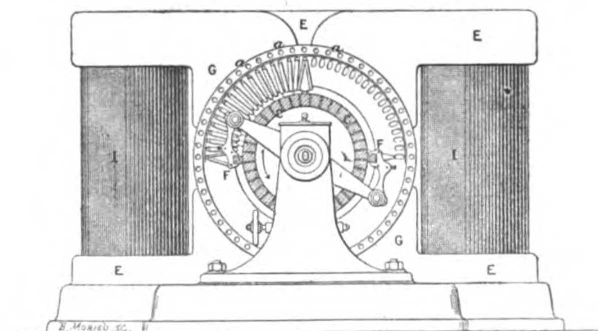


Fig. 46.

tôles que l'anneau AA tourne au milieu d'un inducteur de machine à courant continu dont

les bobines de champ II (voir fig. 46) sont montées en dérivation entre les balais F, F. Il y aura généralement avantage à donner un enroulement compound à ces bobines et à ajouter au circuit monté en dérivation entre les balais, un circuit monté en série dans le circuit extérieur où l'on veut faire passer un courant continu.

Une série de boulons de cuivre tels que *a*, *a*,... traversent les épanouissements polaires E, E de l'inducteur dans une région très voisine de l'entrefer. Leurs extrémités sont reliées par deux cercles conducteurs G, G situés de part et d'autre de l'inducteur (voir fig. 46).

Enfin les sections consécutives des deux anneaux AA et BB sont reliées entre elles et avec les lames du collecteur GG suivant un mode tout particulier que nous allons décrire

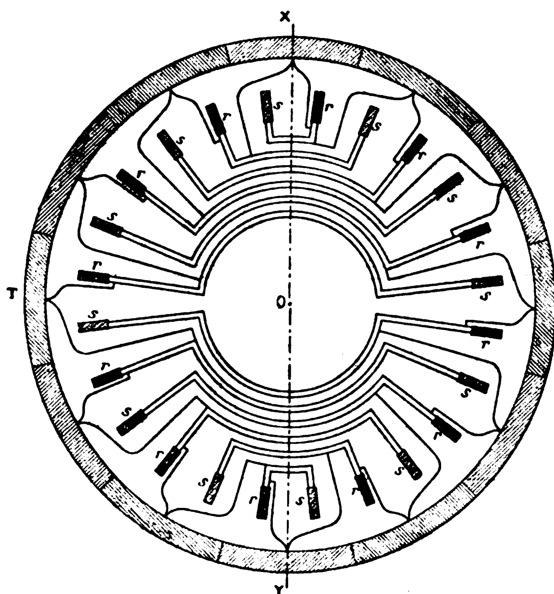


Fig. 47.

et qui est représenté par le schéma de la figure 47.

Les deux anneaux ont le même nombre de sections.

Considérons un plan passant par l'axe du système.

Chaque section de l'anneau BB est montée en parallèle avec la section de l'anneau AA qui lui est symétrique par rapport à ce plan.

On constitue ainsi autant de circuits distincts que l'anneau BB contient de sections distinctes. Ces circuits sont reliés entre eux et avec les lames du collecteur CC suivant la méthode ordinaire, c'est-à-dire comme si l'on avait voulu constituer un anneau de machine à courant continu avec les seules sections de l'anneau BB.

Sur le schéma de la figure 47, la ligne *xy* représente la trace du plan de symétrie considéré sur un plan normal à l'axe du système.

Les projections, sur le plan normal à l'axe, des sections de l'anneau BB sont représentées par des rectangles *rrr*... recouverts de hachures croisées. Celles des sections de l'anneau AA le sont par des rectangles *sss*... recouverts de hachures simples. Pour que ces projections ne se confondent pas, nous avons supposé les deux anneaux décalés l'un par rapport à l'autre.

Le collecteur CC est également projeté en TT. On voit sur la figure 47 comment peuvent être réalisées les connexions décrites ci-dessus sans que les fils qui servent à les établir aient à être croisés en aucun point.

Ces connexions peuvent donc être faites aussi facilement que celles des machines à courant continu ordinaires.

Mode de fonctionnement de l'appareil. — Supposons qu'on lance un courant alternatif de fréquence α dans le circuit de l'anneau DD (fig. 45) et que l'on fasse tourner l'axe avec la vitesse $\frac{\alpha}{2}$ dans le sens de la flèche.

Nous savons que le courant de fréquence α tendra à développer deux champs constants Φ_1 et Φ_2 qui tourneront autour de l'axe O, tous deux avec la vitesse α, mais que le champ Φ_1 tournera dans le sens de la flèche et l'autre en sens contraire.

Le champ Φ_1 aura donc une vitesse relative égale à $\frac{\alpha}{2}$ par rapport à l'anneau AA et le champ Φ_2 aura une vitesse relative égale à $\frac{3\alpha}{2}$ par rapport au même anneau.

Le champ Φ_1 développera des forces électromotrices de fréquence $\frac{\alpha}{2}$ et présentant des différences de phases successives dans les diverses sections de l'anneau AA et, par suite, dans celles de l'anneau BB qui leur sont reliées.

A chaque instant, il y aura une différence de potentiel constante développée entre les sections de l'anneau AA situées aux extrémités du même diamètre xy (fig. 48) qui tournerait autour de l'axe O avec la vitesse α et, par suite, avec une vitesse $\frac{\alpha}{2}$ par rapport à l'anneau AA.

De même, sur l'anneau BB, les sections sur lesquelles la même différence de potentiel contante sera développée seront à chaque instant situées sur les extrémités d'un même diamètre $x'y'$ se déplaçant par rapport à l'anneau BB avec une vitesse égale à $\frac{\alpha}{2}$.

Mais, étant donné que chaque section d'un anneau est reliée à celle de l'autre anneau qui lui est symétrique par rapport à un plan passant par l'axe du système et mobile avec lui, les deux diamètres xy et $x'y'$ devront toujours être symétriques par rapport à ce plan, c'est-à-dire que leurs projections sur un plan normal à l'axe devront faire à chaque instant des angles égaux à ω et de signes contraires, avec la trace XY du plan de symétrie (fig. 48).

Le diamètre xy tournant dans le même sens que la trace XY avec la vitesse relative $\frac{\alpha}{2}$, le diamètre $x'y'$ tournera en sens inverse avec la même vitesse relative. Mais cette trace entraînée dans le mouvement des anneaux a une vitesse absolue égale à $\frac{\alpha}{2}$, donc le diamètre $x'y'$ demeure fixe dans l'espace.

Il en résulte qu'il y aura toujours une différence de potentiels constante entre deux lames diamétralement opposées du collecteur.

Donc, si nous fermons les balais FF sur un circuit extérieur quelconque, on recueillera entre eux un courant continu.

Le champ Φ_2 tendrait à développer une force électromotrice alternative de fréquence 2α entre deux touches diamétralement opposées du collecteur CC.

Mais l'anneau BB tourne au milieu d'un écran magnétique comme nous l'avons vu plus haut. Il ne peut donc être le siège d'un

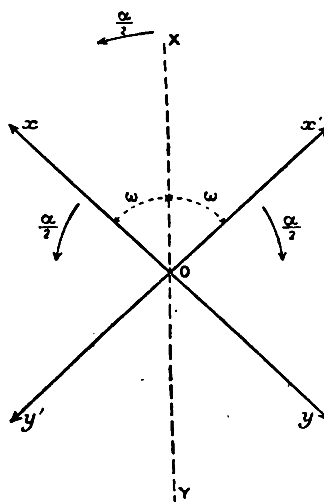


Fig. 48.

flux variable dans l'espace et, par suite, ses sections ne pourront opposer aucune force contre-électromotrice appréciable aux forces électromotrices de fréquence $\frac{3}{2}\alpha$ que le flux Φ_2 développerait dans les sections de l'anneau AA. Les choses se passeront comme si ces sections étaient en court-circuit pour les variations du flux Φ_2. Elles forment écran pour lui et il ne pourra se développer.

On pourrait encore réduire le flux Φ_2 en lui faisant franchir de grands entrefers, mais, la présence de l'écran de l'inducteur II étant nécessitée par d'autres raisons, cela est inutile et aurait pour effet de rendre plus difficile le développement du flux Φ_1.

Nous avons supposé, dans ce qui précède, que les anneaux étaient animés d'une vitesse $\frac{2}{\alpha}$. Ce résultat se trouve obtenu grâce à la présence de l'inducteur II. En effet, le système se comporte alors comme un moteur synchrone et l'on peut demander à cet inducteur de fournir en même temps les courants déwattés nécessaires à la production du

****

champ Φ_1. L'écran magnétique de l'inducteur II a pour but d'assurer la stabilité du synchronisme.

On pourra lancer l'appareil avec du courant continu, si l'on dispose d'une batterie d'accumulateurs. On pourra aussi le lancer comme un moteur asynchrone, mais il conviendra alors de munir d'un circuit auxiliaire l'inducteur DD de la figure 45, comme on le fait en général pour les moteurs asynchrones à courants alternatifs simples.

Observations. — Nous avons supposé que les deux moteurs associés étaient bipolaires : rien n'empêche de les rendre multipolaires.

Nous avons supposé que les enroulements étaient du genre Gramme : ils peuvent être d'un genre quelconque.

Enfin, nous pouvons remplacer l'inducteur de machine asynchrone à courants alternatifs simples, qui agit sur l'anneau AA, par un inducteur de machine asynchrone à courants polyphasés. Nous aurons ainsi un transformateur-redresseur à courants polyphasés.

Avantages principaux du système. — Si l'on dispose, pour l'emploi de courants à haute tension, l'inducteur de moteur asynchrone qui agit sur l'anneau AA, cet inducteur peut être considéré comme le circuit primaire d'un transformateur, et le système est dès lors complet : il sert à transformer à la fois la tension et la nature du courant.

Il convient d'observer que l'inducteur à courant continu permet de développer économiquement des courants déwattés très intenses; on peut donc impunément adopter, dans la construction de l'inducteur à courants alternatifs, les modes d'enroulement qui se prêteront le mieux à une facile isolation sans avoir à redouter les fuites magnétiques.

D'un autre côté, le collecteur n'a à redresser que des courants de fréquence $\frac{\alpha}{2}$ alors qu'avec tout autre système il aurait à redresser des courants de fréquence α. Cela est un très grand avantage, car, à égalité de vitesse tangentielle du collecteur et de largeur des lames, on pourra doubler le sectionnement des anneaux, ce qui facilitera beaucoup la commutation et permettra la production facile d'un courant continu de tension élevée.

Comparaison de cet appareil avec les commutatrices. — On appelle *commutatrice* un transformateur de courant alternatif en courant continu constitué par une machine à courant continu ordinaire sur l'axe de laquelle sont disposées deux bagues reliées à deux touches diamétralement opposées du collecteur.

On lance dans la machine, par l'intermédiaire de ces bagues, le courant alternatif que l'on veut transformer.

On sait que, si l'on amène à la vitesse du synchronisme une semblable dynamo, elle continue à tourner comme un moteur synchrone, en même temps que l'on peut recueillir un courant continu entre des balais appuyés à la manière ordinaire sur son collecteur.

Nous nous proposons de rechercher :

1° Quelles dimensions il conviendra de donner à l'anneau de cette machine pour en faire une commutatrice de puissance déterminée, en tenant compte des phénomènes d'échauffement;

2° Quelle sera la réaction d'induit et comment il conviendra de dimensionner son inducteur;

3° De comparer l'importance du matériel nécessaire à la constitution du transformateur-redresseur, suivant que l'on emploie un transformateur ordinaire et une commutatrice ou l'un des deux appareils que nous venons de décrire.

a. Chaleur dégagée dans l'anneau d'une commutatrice. — Le nombre des sections de l'anneau est égal à $2N$. Nous appellerons ρ la résistance de chacune d'elles.

Les deux touches du collecteur situées sur le diamètre xy (fig. 49) sont en relation constante avec les bornes d'une source d'énergie

qui maintient entre elles une différence de potentiels

$$h = h_0 \sin 2\pi\alpha t.$$

L'anneau tourne dans un champ fixe en faisant α tours par seconde.

Deux balais s'appuient sur le collecteur et

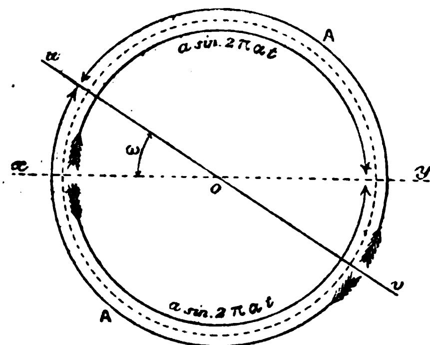


Fig. 49.

sont calés de manière que la force électromotrice continue développée entre eux soit maximum. Cette force électromotrice est égale à h_0.

Désignons par 2A l'intensité du courant continu débité, et par $i = 2a \sin 2\pi\alpha t$ celle du courant alternatif fourni par la source alternative. Dans ces conditions, l'intensité i est complètement wattée et nous n'examinerons que ce cas.

Si le rendement du transformateur était égal à 1, nous aurions la relation

$$\frac{ah_0}{2} = Ah_0, \qquad \text{d'où} \qquad a = 2A.$$

En réalité, on aura toujours $a > 2A$, mais nous pouvons supposer $a = 2A$ sans erreur sensible.

A un instant donné, la ligne de contact uv des balais fait un angle ω avec le diamètre xy. Les courants d'intensité 2A et $i = 2a \sin 2\pi\alpha t$ se partagent autour de l'anneau, comme il est représenté sur la figure 49, où les flèches représentent les directions de ces courants considérées comme positives.

L'intensité i est maximum lorsque la ligne xy se confond avec la ligne uv. A ce moment, l'intensité i doit être de signe contraire à l'intensité 2A, puisque, sous un même voltage, l'un des courants fournit du travail et l'autre en absorbe. On vérifie immédiatement, sur la figure 49, que c'est ce qui arrive si les directions positives des courants sont celles représentées par les flèches.

Dans ces conditions, tant que l'angle ω est compris entre 0 et π, il y a, entre les points x et u,

$\frac{N}{\pi}\omega$ sections où l'intensité est égale à $(A + a \sin 2\pi\alpha t)$;

entre les points u et y,

$\frac{N}{\pi}(\pi - \omega)$ sections où l'intensité est égale à $(-A + a \sin 2\pi\alpha t)$;

entre les points y et v,

$\frac{N}{\pi}\omega$ sections où l'intensité est égale à $(-A - a \sin 2\pi\alpha t)$;

entre les points v et x,

$\frac{N}{\pi}(\pi - \omega)$ sections où l'intensité est égale à $(A - a \sin 2\pi\alpha t)$.

Lorsque l'anneau est dans la position représentée sur la figure, la quantité de chaleur dQ dégagée pendant un temps dt est égale à

$$dQ = 2\frac{N}{\pi}\rho[\omega(A + a \sin 2\pi\alpha t)^2 + (\pi - \omega)(A - a \sin 2\pi\alpha t)^2]\,dt.$$

Pendant que l'anneau tourne, l'angle ω croît proportionnellement au temps et augmente de π en un temps 2α.

On a donc

$$\omega = 2\pi\alpha t.$$

Il vient alors

$$dQ = 2\frac{N}{\pi}\rho[\pi(A - a \sin 2\pi\alpha t)^2\,dt + 2\pi\alpha t(4aA \sin 2\pi\alpha t)]\,dt.$$

La quantité de chaleur dégagée pendant que l'anneau fait un demi-tour est

$$Q_1 = 2N\rho\int_0^{\frac{1}{2\alpha}}(A - a \sin 2\pi\alpha t)^2\,dt + 16\alpha N\rho Aa\int_0^{\frac{1}{2\alpha}} t \sin 2\pi\alpha t\,dt$$

On a

$$\int_0^{\frac{1}{2\alpha}} (A - a \sin 2\pi\alpha t)^2 dt$$

$$= \frac{A^2}{2\alpha} + \frac{2aA}{2\pi\alpha} (\cos 2\pi\alpha t)_0^{\frac{1}{2\alpha}} + \frac{a_2}{4\alpha} - \frac{a^2}{8\pi a} (\sin 4\pi\alpha t)_0^{\frac{1}{2\alpha}}$$

$$= \frac{1}{2\alpha}\left(A^2 + \frac{a^2}{2} - \frac{4}{\pi} a A\right).$$

On a, d'autre part,

$$\int t \sin 2\pi\alpha t\, dt = \frac{1}{2\pi\alpha}\left(-t\cos 2\pi\alpha t + \frac{1}{2\pi\alpha}\sin 2\pi\alpha t\right)$$

d'où

$$\int_0^{\frac{1}{2\alpha}} t \sin 2\pi\alpha t\, dt = \frac{1}{4\pi\alpha^2}\,.$$

Il vient ainsi

$$Q_2 = \frac{2N\rho}{2\alpha}\left(A^2 + \frac{a^2}{2}\right).$$

Les mêmes phénomènes se reproduisant au bout de chaque demi-période, la quantité de chaleur Q dégagée par seconde est égale à

$$Q = 2N\rho\left(A^2 + \frac{a^2}{2}\right),$$

ou, puisque l'on a $a = 2A$,

$$Q = 2N\rho(3A^2).$$

S'il ne passait aucun courant alternatif dans l'anneau et si on le faisait tourner de manière qu'il fonctionnât comme une génératrice ordinaire à courant continu et si l'on poussait le débit jusqu'à ce que la quantité de chaleur dégagée fût la même, nous voyons qu'il faudrait multiplier l'intensité A par $\sqrt{3}$; d'où cette conclusion :

L'anneau d'une commutatrice de 100 *kilowatts, à courants alternatifs simples, doit avoir les mêmes dimensions que celui d'une machine à courant continu de* 173 *kilowatts où les variations de flux auraient la même fréquence.*

b. Réaction d'induit d'une commutatrice. — Le courant d'intensité $i = 2a \sin 2\pi\alpha t$ produit deux champs tournant avec la vitesse α par rapport à l'anneau, l'un dans un sens, l'autre dans l'autre.

L'un de ces flux est fixe dans l'espace et a une intensité égale et de signe contraire à celle du champ produit par le passage du courant continu à travers l'armature.

Quant à l'autre, il a une vitesse égale à 2α. Il importe de réduire son intensité à une valeur très faible, sans quoi il rendrait impossible la commutation.

On peut y arriver en donnant un grand entrefer à la commutatrice; mais il faut alors la munir d'un inducteur très puissant, dont seule l'expérience permettra de déterminer les dimensions.

On peut y arriver plus simplement en entourant l'anneau mobile d'un écran conducteur qui s'opposera au développement de ce champ tournant. Cela fait, on pourra considérer la réaction d'induit comme nulle et réduire l'entrefer au simple jeu nécessité par les conditions de fonctionnement mécanique.

Le nombre d'ampères-tours développé dans les circuits de l'écran sera égal à celui développé par le passage du courant continu dans l'armature. Il faudra donc dépenser sensiblement la même quantité de cuivre que si l'on voulait faire un inducteur pour une machine de courant continu ordinaire de 100 kilowatts en le disposant suivant la méthode de Ryan.

Nous pouvons dire, comme approximation grossière, que l'inducteur d'une commutatrice devra être dimensionné comme celui d'une machine à courant continu de même puissance.

c. Comparaison des deux systèmes. — Supposons que l'on veuille faire un transformateur-redresseur de 100 kilowatts pour courants alternatifs simples.

Si l'on emploie une commutatrice ordinaire, il faut :

1° Un transformateur de 100 kilowatts ;

2° Une machine à courant continu ayant son anneau dimensionné comme celui d'une

machine de 173 kilowatts et son inducteur comme celui d'une machine de 100 kilowatts.

Si l'on emploie notre système de transformateur, on trouve que l'ensemble de ses deux anneaux représente un matériel d'une importance égale à l'anneau de la commutatrice.

Quant aux deux inducteurs, celui qui est parcouru par des courants alternatifs se comporte comme un circuit primaire capable d'absorber 100 kilowatts ; mais, comme le flux tourne deux fois plus vite que l'induit du moteur, il suffira de le dimensionner comme un inducteur de machine asynchrone de 50 kilowatts.

Enfin, l'inducteur excité par un courant continu doit être aussi dimensionné comme celui d'une dynamo de 50 kilowatts.

En résumé, le prix d'un semblable transformateur doit être sensiblement le même que celui d'une commutatrice de même puissance. On a comme bénéfice net l'économie du transformateur qui doit accompagner la commutatrice.

(*A suivre.*)

M. Leblanc.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Les installations électriques de la gare d'Anvers-Est [1].

Deux communications faites à la séance du 30 avril dernier de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut Montefiore, l'une par M. L'Hoest, l'autre par M. Mélotte, nous fournissent les renseignements suivants sur les installations électriques qui viennent d'être récemment exécutées à l'importante gare centrale que l'on édifie actuellement à Anvers.

Par suite de l'exiguïté de l'emplacement dont on disposait à Anvers bien des services accessoires ont dû être relégués en dehors de la gare principale ; pour cette raison l'usine génératrice d'électricité a été construite à Berchem, à 1 500 m environ de la gare centrale. Cette usine doit assurer l'éclairage de cette dernière gare, des nombreuses voies de garage posées jusqu'à Berchem, des importantes installations du service de la traction, et enfin de la gare aux marchandises de Borgerhout. De plus, elle doit alimenter les électromoteurs des monte-charges hydrauliques de la gare aux voyageurs, ceux de plusieurs ventilateurs, le moteur d'un conveyeur à charbon et les moteurs de l'atelier de réparation et des pompes alimentaires. Ces divers appareils récepteurs s'étendent sur une longueur de plus de 2 500 m. On n'a pas cru devoir employer le courant alternatif à cause de l'importance relative de l'éclairage par arc et aussi à cause de la nécessité d'établir une batterie d'accumulateurs à la gare d'Anvers pour assurer le fonctionnement de l'éclairage et des monte-charges de cette gare dans le cas d'un accident à la ligne de transmission.

I. Usine génératrice de Berchem. — Cette usine contient actuellement deux machines horizontales de 220 chevaux, dont les arbres sont directement connectés par embrayages à un arbre de transmission installé entre les deux moteurs. Cet arbre actionne, par trois jeux de poulies fixes et folles, trois dynamos Schuckert à excitation en dérivation capables de débiter 200 ampères sous une tension pouvant être réglée de 330 à 390 volts. Des emplacements sont réservés pour d'autres dynamos.

Une des dynamos, chargée du service local de Berchem et Borgerhout, est réglée à

[1] *Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut Electrotechnique Montefiore*, t. X, p. 213-223.

la tension constante de 330 volts. Elle est connectée à la barre supérieure et à la troisième barre du tableau de distribution, tableau dont un schéma est donné au bas de la figure 1. Ces deux barres se dédoublent à droite du schéma, tandis que les barres 2 et 4 sont interrompues en cet endroit. Les circuits de lampes à incandescence et de lampes à arc, ces dernières par groupes de sept en série, se raccordent aux barres 1 et 3 par l'intermédiaire de plombs fusibles; c'est pour disposer rapidement des plombs fusibles de rechange que ces barres ont été dédoublées.

Une des deux autres dynamos actuellement en fonction [1], au besoin toutes les deux, sont raccordées à la deuxième et à la quatrième barres et alimentent la gare principale par deux câbles souterrains. La tension de ces dynamos est réglée de façon à maintenir à cette gare une différence de potentiel de 330 volts; des fils pilotes, non figurés au croquis, réunissent un voltmètre établi à Berchem, à l'extrémité des câbles, à Anvers-Est. Tout à la gauche du croquis on voit l'interrupteur bipolaire qui est inséré entre les barres et les câbles; un ampèremètre et un compteur d'énergie sont aussi insérés à l'origine d'un des brins du câble.

Des électromoteurs établis dans le voisinage de l'usine génératrice et figurés à gauche du croquis entre le départ du câble et les circuits des machines, sont alimentés par l'une ou l'autre paire de barres, au moyen de commutateurs bipolaires à renversement. Le jour ils sont connectés aux deuxième et quatrième barres, les dynamos du service de la gare d'Anvers étant seules en marche; la nuit, quand toutes les dynamos sont en fonction, ils sont reliés soit à ces barres soit aux deux autres suivant la répartition des charges.

[1] Le schéma est tracé dans l'hypothèse de cinq dynamos; on y voit donc les cinq circuits de machine avec l'ampèremètre et le voltmètre propres à chacun d'eux; on voit en outre que chaque dynamo peut être connectée à volonté à l'une ou à l'autre paire de barres, en sorte que l'une quelconque de ces dynamos peut être substituée à une des autres.

II. Installations de la gare d'Anvers. — La gare de l'Est est établie à 5 m au-dessus du niveau du sol; le rez-de-chaussée contient de nombreux locaux de service, entr'autres la sous-station de l'électricité.

Tableau de distribution. — La distribution se fait à 330 volts pour la force motrice et une partie de l'éclairage par arcs; elle se fait sous 110 volts, au moyen d'un réseau à 4 fils et par suite à trois ponts pour l'éclairage par incandescence et une partie de l'éclairage par arcs.

La partie supérieure de la figure 1 donne la disposition des barres et appareils du tableau de distribution. On y voit, tout à gauche, les deux barres extrêmes, c'est-à-dire présentant une différence de potentiel de 330 volts. Ces barres sont repliées sur elles-mêmes, afin que les commutateurs bipolaires des circuits puissent s'y relier à volonté vers le haut ou vers le bas, par l'intermédiaire de plots connectés à l'une des barres par un plomb fusible : chaque circuit possède ainsi un double jeu de plombs fusibles ce qui permet de rétablir promptement le circuit en cas de fusion de l'un de ses plombs. Cette partie du tableau alimente exclusivement des circuits de sept arcs en série, sans raccord avec les conducteurs intermédiaires de la distribution à quatre fils. A l'extrémité droite du tableau, la disposition est identique; cette partie sert à l'alimentation des moteurs fonctionnant sous 330 volts.

De part et d'autre du centre du tableau sont les prises de courant des ponts intermédiaires, savoir, à gauche celles des lampes à incandescence, à droite celles des circuits de deux arcs en série.

Les quatre barres du tableau des lampes à incandescence ne sont pas superposées dans l'ordre de leurs tensions. Si nous convenons de désigner par o le potentiel de la barre négative, nous trouverons, à partir du bas : 1° la barre à 220 volts; 2° la barre à o volt; 3° la barre à 110 volts; 4° la barre à 330 volts. Pour une moitié des circuits, une extrémité se

raccorde à la barre 3 à 110 volts tandis que l'autre extrémité aboutit à un commutateur qui ferme le circuit à volonté sur la barre 2 à 0 volt ou la barre 1 à 220 volts. L'autre moitié des circuits à incandescence se raccorde de même, d'une part, à la barre 1 à 220 volts, et, d'autre part, à un commutateur qui ferme le circuit, soit sur la barre 3 à 110 volts soit sur la barre 4 à 330 volts. En résumé, chaque circuit d'incandescence peut être placé en dérivation sur un des ponts extrêmes ou sur le pont intermédiaire; le but de cette disposition est de fournir le moyen d'équilibrer la charge des ponts et d'assurer la constance de leur tension.

Une semblable disposition est réalisée à droite pour l'alimentation des groupes de deux arcs en série. Toutefois, comme dans les circuits d'arcs, le sens du courant ne peut être renversé, les commutations se font sur les deux extrémités de circuit à la fois par des commutateurs bipolaires, dont une des lames reste toujours positive par rapport à l'autre. Les barres sont ici disposées dans l'ordre de leur tension.

Le tableau de distribution se complète au centre par 3 voltmètres donnant la tension de chaque pont, par deux ampèremètres insérés entre les barres extrêmes et les conducteurs amenant le courant de Berchem, enfin par deux ampèremètres à graduation gauche et droite dont l'usage sera indiqué plus loin.

Sur le schéma (fig. 1) on n'a figuré qu'un seul circuit de chaque espèce. En réalité le tableau est établi pour 100 circuits, nombre qui permet de réaliser les combinaisons nécessaires pour le maintien de la tension dans chaque pont.

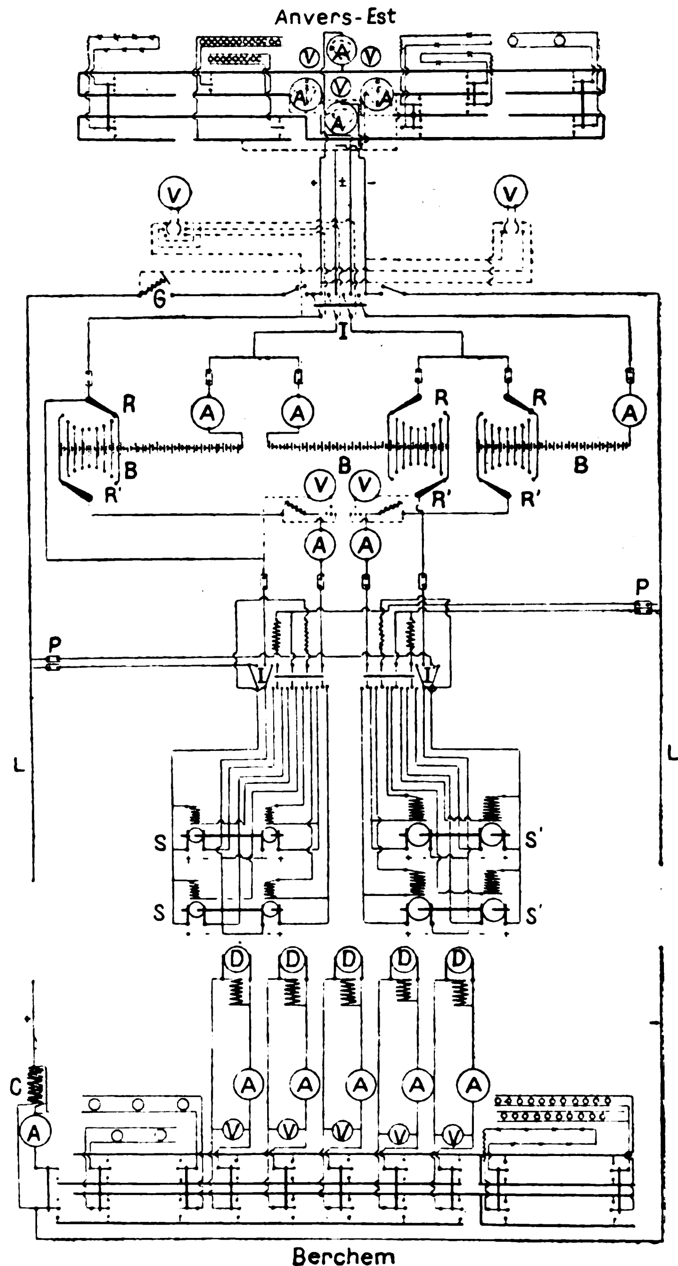


Fig. 1. — Schéma de l'installation Berchem-Anvers.

A. ampèremètres. — B, batterie d'accumulateurs. — C, compteur. — D, dynamos. — G, conjoncteur. — I, I', interrupteurs. — L, ligne. — P, plombs fusibles. — R, réducteurs-adjoncteurs automatiques. — R', réducteurs à main. — S, S', survolteurs. — V, voltmètres.

Batteries d'accumulateurs. — Le réglage de la tension par la manœuvre de commutateurs exige nécessairement beaucoup d'attention, aussi ce système de réglage n'a-t-il été prévu que pour des cas exceptionnels. En service normal c'est un batterie d'accumulateurs et ses appareils accessoires qui maintiennent l'uni-

formité de la tension, la manœuvre des commutateurs ne se faisant que lorsque, par suite de variations anormales de la charge de chacun des ponts, la batterie devient insuffisante pour maintenir cette uniformité de tension.

La batterie d'accumulateurs se compose de 183 éléments Tudor de 1 200 ampères-heure, réunis en trois groupes de 61 éléments, dont 20 éléments de réduction. Du côté de la décharge (voir en haut de la ligne des accumulateurs sur le schéma), les réducteurs-adjoncteurs sont automatiques et se raccordent, ainsi que l'élément terminal de la batterie (à droite de la figure), aux quatre barres du tableau de distribution, au moyen d'un interrupteur à quatre lames conjuguées. Un disjoncteur automatique à minimum défend le câble positif de Berchem contre un renversement de courant. Les ampèremètres établis à l'origine des barres intermédiaires et ceux insérés dans les câbles raccordant les extrémités des batteries partielles, renseignent le conducteur électricien sur le régime des ponts et sur celui des batteries.

Avant de connecter la batterie sur les quatre barres du distributeur par la manœuvre de l'interrupteur à quatre lames, on s'assure, au moyen du voltmètre (raccordé à gauche par traits pointillés) que la tension est convenable dans chaque batterie partielle. De même lorsque, la batterie alimentant seule le réseau de distribution, on veut mettre en parallèle les deux câbles de Berchem, on vérifie au moyen du voltmètre figuré à droite, si les tensions totales sont sensiblement les mêmes, celle du câble de Berchem devant nécessairement être un peu supérieure à l'autre.

Survolteurs. — Leur rôle étant limité à ce qui vient d'être dit, les accumulateurs de la sous-station ne formeraient qu'une batterie-tampon, destinée à régulariser la tension dans les ponts et à atténuer les effets des nombreux démarrages des moteurs. Comme la batterie doit aussi assurer pendant un certain temps l'alimentation du réseau de la gare d'Anvers dans le cas d'une interruption de la ligne venant de Berchem, il a fallu prévoir une installation pour la charge de cette batterie, charge qui exige une différence de potentiel allant jusqu'à 450 volts. On a donc employé des survolteurs composés chacun d'un moteur accouplé à une génératrice survoltant le courant total de charge.

Le curseur de chaque groupe d'éléments de réduction devant être réuni à l'une des bornes d'un survolteur, il faut au moins deux de ces appareils; de plus, chacun d'eux doit être capable d'élever la tension d'une quantité au moins égale à celle de la totalité des éléments de réduction qui peuvent être compris entre leurs bornes. Les survolteurs établis à gauche du schéma survoltent de 50 volts aux éléments de réduction de la batterie partielle de gauche. Ils sont au nombre de deux, l'un étant de service, l'autre formant réserve. Un jeu de clés et de connexions commutent le courant sur l'un ou l'autre moteur et sur le survolteur correspondant, les circuits d'induits étant séparés des circuits d'inducteurs réglés par rhéostats. Les survolteurs figurés à droite opèrent sur deux jeux d'éléments de réduction; c'est pourquoi leur tension est double de celle des premiers. Des ampèremètres insérés dans le circuit de charge indiquent l'intensité du courant qui traverse les induits des survolteurs.

Avant de relier les câbles de charge au curseur des éléments de réduction, on s'assure, au moyen de voltmètres indiqués au schéma, que la tension de charge est égale ou supérieure à celle de la batterie; comme mesure de précaution la conjonction est opérée par des appareils automatiques à minimum.

Ascenseurs hydroélectriques. — Les voies de la gare d'Anvers étant, comme il a été dit, à 5 m au-dessus du niveau du sol, des ascenseurs ont été installés pour le service des bagages et des marchandises. Ces ascenseurs sont au nombre de quinze, onze pouvant élever une charge de 1 400 kg, quatre une charge de 1 000 kg. Des monte-wagons capables d'élever une charge de 18 tonnes avec une vitesse de 0,50 m : sec sont aussi prévus.

Les ascenseurs sont mus hydrauliquement, l'eau étant comprimée par des pompes actionnées par des moteurs électriques. On a songé un moment à employer des ascenseurs purement électriques mais on a craint que l'emploi de l'électricité pour mettre en mouvement les monte-wagons dont l'installation est prévue ne donnât lieu à des difficultés dans le réglage de la tension du réseau de distribution électrique et, en vue de l'uniformité des installations, on a préféré avoir recours au système hydroélectrique pour tous les appareils de levage.

Les moteurs électriques qui actionnent les pompes de compression sont du type Gramme supérieur à excitation shunt; leur alimentation se fait à 330 volts; leur puissance est de 10 kilowatts; ils sont au nombre de deux. Chacun attaque par courroie un premier arbre tournant avec une vitesse angulaire de 2 000 tours par minute; cet arbre porte un pignon à chevrons qui engrène avec une roue dentée fixée sur un arbre à trois manivelles. Chaque manivelle fait mouvoir, au moyen d'une bielle, un double piston plongeur pénétrant dans deux corps de pompe disposés de part et d'autre du point d'attache de la bielle du piston; chaque pompe comprend donc six cylindres.

L'eau est refoulée dans deux accumulateurs hydrauliques ayant une capacité de 1 m^3. A cause du peu de hauteur dont on disposait chaque accumulateur a été divisé en deux appareils identiques. Ils produisent une pression de 25 atmosphères.

Le rhéostat de démarrage et de régulation de la vitesse de chaque moteur est actionné automatiquement par les accumulateurs hydrauliques. Lorsque la réserve d'eau comprimée descend au-dessous d'une certaine limite dans un accumulateur, la cuve de celui-ci fait démarrer le moteur de la pompe correspondante. Lorsque l'accumulateur est plein, le courant est rompu par le déplacement même de la cuve.

En service normal un seul moteur, une seule pompe et un seul accumulateur hydraulique doivent suffire. L'autre groupe n'entre en fonction que si la dépense d'eau devient momentanément trop considérable. Il sert principalement de réserve en cas d'accident au premier groupe. La canalisation d'eau est aussi établie en double afin de pouvoir parer immédiatement à toute éventualité.

J. R.

Communication télégraphique entre le phare de Fastnett et l'Irlande.

On sait combien de difficultés offre l'établissement de communications télégraphiques entre la côte et les bateaux-phares ou les phares isolés. Les savants anglais se sont depuis longtemps occupés de cette question délicate et leurs recherches ont conduit à des solutions intéressantes dont beaucoup ont été décrites dans ce journal.

L'installation qui a été faite pour relier le phare de Fastnett et la côte irlandaise nous offre un nouvel exemple de communication télégraphique avec ligne discontinue. Voici la description qu'en donne M. F.-G. de Nerville dans un récent numéro des *Annales télégraphiques* (t. XXV, p. 5).

Le phare de Fastnett, à la pointe sud-ouest de l'Irlande, est construit sur un îlot de roche très dure situé à 7 milles (12,964 km) environ de la côte. Le rocher a 80 pieds (24 m) de haut, 360 pieds (110 m) de longueur et une largeur maxima de 150 pieds (46 m). Le ressac est très violent autour de l'îlot et tous les câbles qui, jusqu'alors, avaient relié le phare à la terre ferme se détruisaient rapidement par le ragage sur le rocher.

On a dû recourir à un système de communication non continue imaginé par MM. Willoughby S. Smith et Granville. Le système proposé en 1887 a été pratiquement expérimenté au phare de Needles en 1892; il vient tout récemment d'être appliqué à Fastnett par la *Telegraph construction and maintenance Company* sur la demande de la Commission royale des phares de la Grande-Bretagne. Le câble principal est d'un modèle

ordinaire (107 livres de cuivre par mille et 150 livres de gutta-percha, soit 26,2 kg de cuivre et 36,6 kg de gutta par kilomètre). Il atterrit dans une petite baie A à environ 1 mille (1852 m) à l'ouest du bureau télégraphique de Crookhaven, et est prolongé jusqu'à ce bureau par un fil souterrain de même spécification.

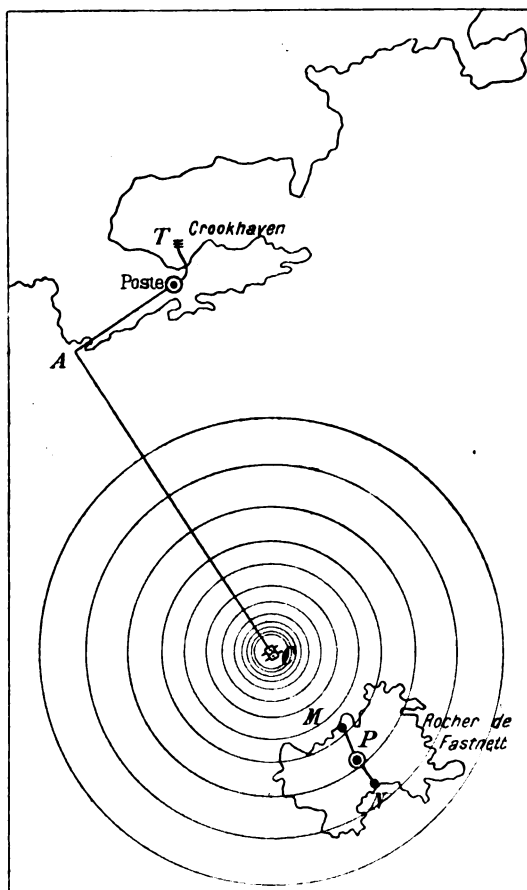


Fig. 1.

Ce câble a 7 milles de longueur (13 km) il se termine au fond de la mer, en un point C distant de 100 pieds environ (30,5 m) du rocher de Fastnett par 11 brasses de profondeur (20 m). Le bout du câble est solidement fixé en C à un gros champignon de cuivre qui remplit un double but : il assure la communication parfaite du conducteur avec la mer et, mécaniquement, il sert d'ancre pour amarrer et maintenir l'extrémité du câble.

Le contact entre le cuivre du champignon et le fer de l'armature du câble a été évité par l'application d'un isolant sur l'extrémité de l'armature. Dans ce but, sur une longueur de 30 m à partir du champignon le câble est constitué de la manière suivante : le conducteur est recouvert d'une forte couche de caoutchouc et d'une armature de gros fils de cuivre isolée elle-même par une seconde couche de caoutchouc très épaisse. Pour éviter l'usure du caoutchouc sur le sable du fond, la partie isolée de l'armature est protégée par de gros cylindres de verre fondu qui sont enfilés sur le câble. Ces cylindres sont séparés les uns des autres par des rondelles élastiques de caoutchouc.

Le circuit du câble principal est complété par une courte ligne de terre de 200 m environ qui relie le bureau de Crookhaven au port.

Supposons que des émissions de courants soient faites dans le câble entre T et C, les ondes électriques se propageant par la mer entre les deux extrémités de la partie métallique du circuit feront apparaître autour du champignon et, par suite, du rocher, des différences de potentiel. Si donc, un deuxième circuit est établi sur le rocher entre deux prises de terre immergées dans la mer, en M et en N, sur les faces nord et sud de l'îlot, des courants se produiront dans ce circuit et un galvanomètre ou tout autre récepteur, suffisamment sensible, pourra être impressionné chaque fois que la pile du bureau de Crookhaven sera reliée au câble principal. Inversement, une pile placée dans le circuit MN de Fastnett pourra actionner un galvanomètre relié au câble principal.

Dans l'installation réalisée, le poste de Fastnett emploie une pile de 10 gros éléments Leclanché; le courant émis est d'environ 1,5 ampère et correspond à un courant de réception à Crookhaven qui ne dépasse pas 15 centièmes de milliampère.

En raison du peu d'intensité du courant reçu, l'appareil de réception doit être fort sensible. D'autre part, cet appareil, relié à

un câble dont les deux extrémités sont à la terre, est le siège de courants parasites qui varient constamment et très rapidement. On a donc dû prendre des précautions toutes spéciales pour parer à ces divers inconvénients.

Le récepteur est un galvanomètre d'Arsonval monté sur un pivot vertical. Un manche manié à la main fait tourner le galvanomètre sur ce pivot et permet de corriger rapidement la position du zéro.

Le dispositif d'appel est très ingénieux. Il se règle automatiquement suivant les variations des courants de terre ou de polarisation et n'actionne la sonnerie que sous l'influence de courants interrompus à des intervalles de temps périodiques d'une fréquence définie.

Pour permettre aux deux câbles courts reliant à la mer les appareils du phare de résister aux vagues qui balaient parfois la totalité de l'îlot, chacun de ces câbles a été couché dans une profonde rainure creusée dans le rocher, puis maçonné dans une gaine de ciment.

Cette rainure règne depuis le haut du rocher jusqu'au niveau des basses mers. A la sortie de la rainure la communication permanente avec l'eau est assurée par un très gros câble de cuivre pénétrant dans un trou de 2,5 pouces de diamètre (5,5 cm) foré dans le roc depuis le niveau des basses mers jusqu'à une profondeur de 20 pieds (6 m). Ce dispositif assure en tout temps la communication électrique avec la mer et met le conducteur à l'abri de toute détérioration.

Cette installation a été terminée en juillet 1895 et a fonctionné une première fois jusqu'en mars 1896. A cette époque, le champignon de cuivre s'est rompu et a été séparé du câble. En raison de la difficulté très grande du travail dans une région où la mer est très rarement calme, le câble n'a pu être rétabli qu'au mois de juin 1897. Depuis ce moment il ne paraît pas avoir cessé de fonctionner dans de bonnes conditions.

Variation de l'isolement des câbles à air sec avec la température ;

Par Deflacellière [1].

Jusqu'ici on ne possédait aucune donnée sur la variation d'isolement qu'éprouve un câble dont l'isolant est constitué par le papier et l'air sec quand la température de ce câble varie. C'est cette étude que M. Deflacellière vient d'exécuter au laboratoire de l'administration des Postes et Télégraphes.

Le câble expérimenté est un câble téléphonique à une paire de conducteurs, d'une longueur de 505 m. Il est constitué par deux fils de cuivre de 1 mm de diamètre, couverts chacun de deux bandes de papier de 0,09 mm d'épaisseur, le tout maintenu par deux autres bandes de papier de même épaisseur et recouvert à chaud d'un tube de plomb de 2,50 mm d'épaisseur et 1 cm de diamètre extérieur. Il a été essayé tel quel sans avoir subi aucun dessèchement préalable.

Pour faire varier sa température, ce câble, enroulé sur une bobine de bois, était placé dans une cuve en tôle contenant environ 1,5 m^3 d'eau, entourée d'un matelas de feutre et chauffée au gaz. La température de l'eau était donnée par trois thermomètres ; deux verticaux, tangents au câble de chaque côté et plongeant dans les couches inférieures ; un horizontal posé sur le câble. En brassant très fréquemment, ces trois thermomètres furent constamment d'accord.

La principale difficulté des expériences consistait à maintenir bien secs les bouts du câble et à empêcher l'air humide de la salle de pénétrer peu à peu dans l'enveloppe. On ne pouvait obturer les extrémités du câble avec des bouchons de paraffine car l'augmentation de pression de l'air extérieur du câble sous l'influence de l'élévation de température, augmentation qui atteignait 20 cm de mercure, aurait pu faire sauter les bouchons ou produire des déformations du tube de plomb. D'ailleurs la condensation de l'humidité sur

(1) *Annales télégraphiques*, t. XXV, p. 95-117, 1899.

la surface des bouchons aurait pu amener des pertes. Aussi M. Deflacellière a-t-il préféré laisser les bouts du câble librement ouverts mais en les maintenant dans de l'air constamment desséché.

Le dispositif employé à cet effet est le suivant : une cage A (fig. 1) en fort chêne,

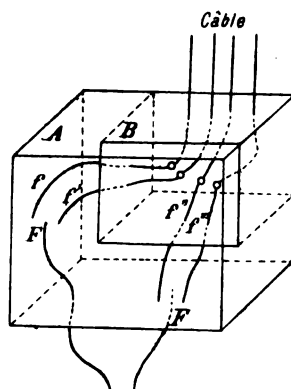


Fig. 1.

aussi sec que possible (longueur 48, largeur 23, hauteur 38 cm), renferme une seconde caisse B (longueur 30, largeur 20, hauteur 25 cm). Les bouts du câble pénètrent dans cette dernière caisse par deux trous percés à travers la paroi supérieure. Pour avoir un joint étanche, l'enveloppe de plomb du câble est soudée à un tube de plomb légèrement plus large, taillé en sifflet à sa

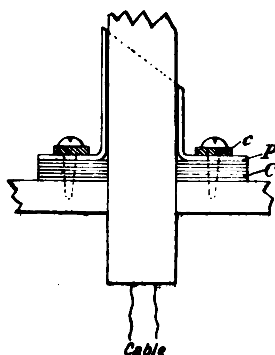


Fig. 2.

partie supérieure, refoulé et dressé à sa partie inférieure (fig. 2) ; celle-ci P est appliquée sur un anneau de caoutchouc épais et souple C que l'on serre fortement au moyen de vis appuyant sur un anneau de cuivre *c*. Aux fils du câble furent fixés par des serre-fils de bons fils sous gutta f, f', f'', f''' (fig. 1 et 3), dénommés fils G (7 fils cuivre,

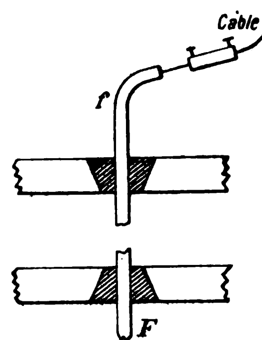


Fig. 3.

7,5 dixièmes recouverts en trois couches à 64 dixièmes). Ces fils sous gutta traversaient les parois de la petite caisse dans des bouchons de caouchouc enfoncés de l'intérieur à l'extérieur et se terminaient dans la grande caisse près des fils FF' munis de serre-fils et aboutissant aux appareils de mesures. Les faces antérieures des deux caisses étaient fermées par des portes vitrées, à deux battants pour la grande caisse, à un seul battant pour la petite caisse, joignant à emboîtement et languette pour laisser passer l'air aussi lentement que possible. Au fond des caisses se trouvaient des cristallisoirs remplis d'acide sulfurique pour dessécher l'air. Pour établir les connexions des fils F F' avec ceux des fils *f* correspondant aux extrémités d'un même fil du câble, il suffisait d'ouvrir la porte de la caisse extérieure pendant un temps très court (1).

(1) L'auteur avait tout d'abord employé un dispositif permettant de faire les connexions sans avoir besoin d'ouvrir la caisse extérieure. Les quatre bouts des fils du câble aboutissaient dans quatre godets contenant du mercure. Les fils FF' aboutissaient dans deux autres godets placés, comme les premiers dans la petite caisse. Des étriers manœuvrés de l'extérieur au moyen de tiges verticales passant à frottement à travers les fonds des deux caisses permettaient de relier les godets des fils FF' à deux des autres. Malheureusement, ce dispositif qui fonctionnait très bien dans les mains de l'auteur donna des médiocres résultats quand il fut confié à celles d'un aide que la disposition des locaux ne permettait pas de surveiller et de guider constamment.

Au début des essais on a commencé par s'assurer du bon isolement des fils F F′ d'une part, puis des bouts de fils $f f' f'' f'''$ d'autre part. Cela fait, on a connecté ces derniers fils aux bouts du câble en opérant avec la plus grande célérité. Ensuite on a refermé la petite caisse, on en a condamné la porte, puis on a fermé la porte de la grande caisse et au bout d'une heure on a procédé à un essai d'isolement d'un des fils du câble à latempérature ordinaire de l'eau (18° C. environ). Le lendemain on a fait un nouvel essai qui donna le même résultat, indiquant ainsi qu'il ne restait pas d'humidité ni sur les bouts du câble, ni dans la petite caisse. Pour s'assurer de l'étanchéité des joints, on porta l'eau de la cuve à l'ébullition et pendant deux jours on procéda à des essais d'isolement. Ceux-ci donnant des résultats constants, on laissa refroidir. L'air contenu dans l'enveloppe du câble produisit, en se contractant, un appel de l'air extérieur dans la grande

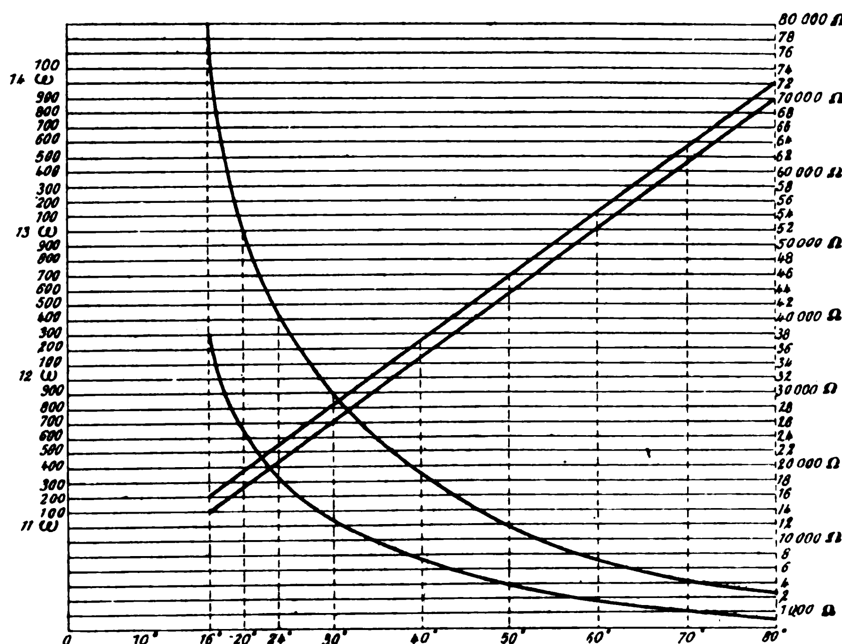


Fig. 4.

caisse et un appel de l'air de celle-ci dans la petite caisse. Quand la température du câble fut revenue à 18° on fit un nouvel essai d'isolement; on retrouva la valeur fournie par les essais initiaux faits à la même température, ce qui montrait le bon fonctionnement de l'appareil. Ce bon fonctionnement se trouva d'ailleurs démontré au cours même des expériences à la suite d'un incident. Un choc ayant fait tomber sur deux des fils du câble un petit hygromètre à cheveu placé dans la petite caisse, cette caisse dut être ouverte pour remettre l'hygromètre en place. L'air de la salle étant alors presque saturé d'humidité, l'eau de la cuve étant depuis six heures maintenue vers 40°, de l'humidité se déposa sur les connexions et l'isolement tomba immédiatement de 19 500 à 3 500 mégohms; mais une heure après l'aiguille de l'hygromètre avait repris sa position initiale et l'isolement sa valeur primitive.

Les essais d'isolement ont été faits par la méthode de comparaison, avec une pile de 100 éléments Callaud petit modèle, un galvanomètre Thomson-Elliott d'une résistance de 10 000 ohms et d'une formule de mérite de 800 mégohms, et une résistance étalon de 1 mégohm construite aux ateliers de l'Administration des Postes et Télégraphes. On mesura également la résistance de chacun des

fils du câble, surtout dans le but de s'assurer, par la constance des valeurs trouvées, que ces fils avaient pris la température du bain; ces mesures furent faites avec un pont de Wheatstone Carpentier à décades et un élément Callaud grand modèle à zinc en spirale.

On commençait par les mesures de résistance. Une fois la résistance du cuivre devenue fixe, ce qui demandait quatre ou cinq heures, on procédait, toutes les demi-heures, pendant quatre heures au moins, à un essai de résistance et à un essai d'isolement avec le pôle négatif sur chacun des deux fils du câble, l'autre fil et l'enveloppe de plomb étant reliés au pôle positif; les isolements étaient relevés après deux minutes de charge; la perte des fils auxiliaires F F′ était sensiblement nulle.

Les températures varièrent de 16 à 80°. On ne put dépasser 80° parce que la cuve, construite pour l'essai des câbles à gutta à des températures inférieures à 30°, n'était chauffée qu'à une extrémité de sorte que quand l'eau était à l'ébullition à cette extrémité la température moyenne, après brassage, n'était que 80° environ. D'autre part, on ne put aller au-dessous de 16° parce que l'eau fournie par la canalisation étant à 18° et la température ambiante de 17°, il eût fallu pour obtenir une température inférieure à 16°, une quantité de glace telle que le brassage fût devenu impossible.

Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau I et représentés par trois des courbes de la figure 4.

Tableau I. — *Résultats généraux des essais.*

Température et Nombre d'essais.		FIL 1						FIL 2						ISOLEMENT moyen général.
		RÉSISTANCE			ISOLEMENT			RÉSISTANCE			ISOLEMENT			
		Maximum.	Minimum.	Moyenne	Maximum.	Minimum.	Moyenne.	Maximum.	Minimum.	Moyenne	Maximum.	Minimum.	Moyenne.	
16°	6	11.102	11.097	11.098		80.000 Ω		11.197	11.192	11.195		80 000 Ω		80 000
20°	5	11,278	11.277	11.2778		52 666		11.378	11.377	11.3778		52 666		52 666
24°	6	11,457	11,437	11,447		40 000		11.566	11.532	11,544		40 000		40 000
30°	6	11.708	11.699	11.703		30 000		11.808	11.799	11.803		30 000		30 000
40°	5	12.129	12,147	12.137	19.500	17.333	19.066	12,234	12,257	12,245	19.500	17.333	18.633	18 849
50°	8	12,591	12.571	12.583	12.000	10,266	11.711	12.700	12,680	12.690	12.000	11.145	11,857	11 784
60°	6	13.038	13.028	13.03[illegible]	7.600	6.999	7,199	13.153	13,138	13,145	7,600	6,999	7.199	7 199
70°	9	13,469	13,460	13,462	4,302	4,222	4,254	13.589	13,580	13.584	4,470	4,222	4,271	4 262
80°	8	13.910	13.895	13.904	2.566	2,482	2,545	14,030	14.015	14,024	2,482	2.444	2,463	2 504

On voit que les deux courbes représentant les variations de la résistance des fils sont sensiblement des droites. Elles ne sont pas absolument parallèles comme cela aurait lieu si la différence de résistance à une même température ne résultait que d'une légère différence des diamètres des deux fils. La légère augmentation que présente l'écart entre les deux courbes à mesure que la température s'élève indique donc une différence de pureté des deux fils. Cette différence de pureté s'explique d'ailleurs facilement par le fait que les fils de cuivre, livrés en grosses bottes par le raffineur, sont enroulés à l'usine par bouts de 515 m sur de petites bobines qu'on mêle et qu'on donne au hasard aux métiers à couvrir.

Les résultats des essais d'isolement ont toujours été très réguliers. La courbe supérieure de la figure 4 traduit graphiquement ces résultats. On voit par l'examen des chiffres du tableau que de 16 à 30° les deux fils ont donné exactement le même isolement; cela se conçoit car pour des chiffres si élevés, les petites différences

de l'état physique qu'ils peuvent présenter

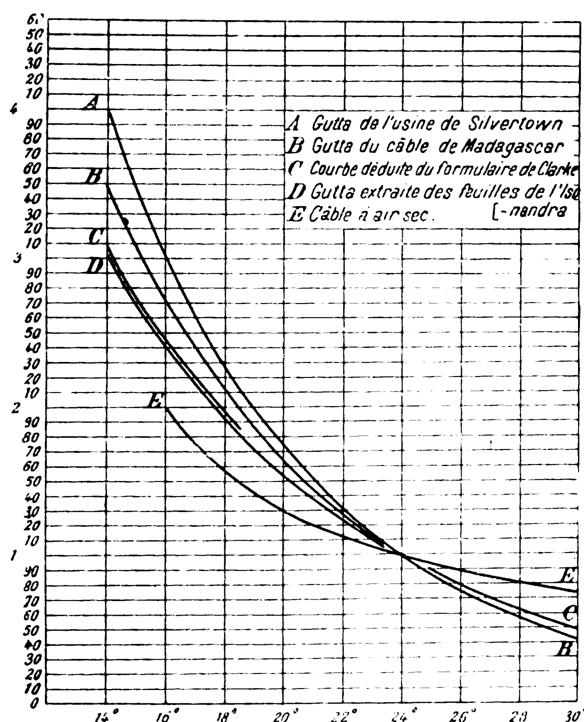


Fig. 5.

sont sensiblement annulées. C'est seulement à 40°, alors que l'isolement primitif est tombé des trois quarts que les écarts se manifestent et que l'isolement de chaque fil à un maximum et un minimum pendant la durée des essais. A quoi faut-il attribuer ce dernier fait ? L'auteur pense que c'est à la vapeur d'eau condensée sur les bouts de fils sous gutta lors de l'ouverture de la grande caisse pour les commutations car les minimum se sont souvent produits lorsqu'on mesurait l'isolement après les résistances des fils (soit cinq ouvertures de la caisse : résistance des fils d'attache, résistance du premier fil, résistance du second fil, isolement des fils d'attache, isolement des fils de jonction) tandis que si, une demi-heure après on mesurait l'isolement du même fil (pas d'ouverture de la caisse) on trouvait le maximum. Pour cette raison l'auteur pense que les valeurs maximum sont celles qui se rapprochent le plus des vraies valeurs de l'isolement.

La figure 4 donne également la courbe de la variation avec la température du rapport $\frac{I_t}{I_{24}}$ de l'isolement à t° et de l'isolement à 24°. Cette courbe est construite d'après les chiffres du tableau II, déduits eux-mêmes des chiffres du tableau I.

Tableau II. — *Rapports* $\frac{I_t}{I_{24}}$.

Température	16°	20°	24°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Isolement. . .	80 000	52 666	40 000	30 000	18 849	11 784	7 199	4 262	2 504
Rapport . . .	2	1.3166	1	0.75	0,4712	0,2946	0.1799	0.1065	0,0626
Multiplicateur.	0.5	0.75	1	1.33	2.12	3.39	5.55	9.38	15.97

Dans le but de comparer les isolements des câbles à gutta M. Deflacellière a calculé le rapport $\frac{I_t}{I_{24}}$ pour divers câbles. Les résultats de ce calcul sont indiqués dans le tableau III et représentés par les courbes de la figure 5. Les données relatives aux câbles de l'usine de Silvertown, du golfe Persique, de Marseille-Oran, de Marseille-Tunis et de Madagascar ont été fournis par M. Jacquin, inspecteur des Postes et Télégraphes. Celles des câbles avec gutta extraite des feuilles de l'isonandra ont été obtenues par l'auteur en

février 1898. Enfin des données ont été prises dans le formulaire de Clarke.

La figure montre que le rapport baisse beaucoup plus vite pour les câbles sous gutta que pour les câbles isolés au papier et à l'air sec. Ces derniers câbles sont donc les moins sensibles aux variations de température au point de vue de l'isolement. Vient ensuite le câble fabriqué avec de la gutta extraite des feuilles, dont la variation est d'ailleurs presque identique à celle qui résulte des données prises dans le formulaire de Clarke.

La diminution de l'isolement des câbles à gutta lorsque la température s'élève, s'explique par le ramollissement de la gutta. Pour les câbles au papier et à l'air l'explication du même fait reste encore à trouver.

Tableau III. — *Rapports* $\frac{I_t}{I_{24}}$ *pour divers câbles.*

TEMPÉRATURE	Marseille-Oran (1892)	Marseille-Tunis (1892)	Madagascar (1895)	Silvertown (1872)	Golfe Persique (1864)	Gutta des feuilles (1898)	Clarke (1865)	Air sec (1898)
30°	0,521	0,423	0,452	»	0,542	»	0,51	0,75
28°	0,647	0,551	0,589	»	0,637	»	0,64	»
26°	0,809	0,725	8,768	0,760	0,815	»	0,80	»
24°	1	1	1	1	1	1	1	1
22°	1,285	1,3695	1,2826	1,31	1,238	1,25697	1,25	»
20°	1,658	1,8575	1,6443	1,72	1,529	1,56535	1,56	1,3166
18°	2,215	2,5435	2,1086	2,27	2,005	1,93221	1,953	»
16°	3,060	3,411	2,7043	2,98	2,607	2,42268	2,441	
14°	4,098	4,4925	3,47	3,94	3,065	3,01063	3,053	

J. R.

Mesure de l'isolement d'une batterie d'accumulateurs ;

Par C. Liebenow [1].

L'auteur distingue deux cas suivant que la résistance d'isolement de la batterie est faible ou élevée.

Dans le premier cas, après avoir coupé les connexions qui relient la batterie aux circuits de charge et de décharge, on intercale un ampèremètre sans résistance appréciable entre l'un des pôles de la batterie, le pôle négatif par exemple, et la terre ; soit i l'intensité du courant qui traverse alors l'ampèremètre. Ensuite on intercale l'ampèremètre entre l'autre pôle de la terre ; soit i' la valeur de l'intensité du courant. De ces deux mesures on déduit la résistance d'isolement R de la batterie au moyen de la formule

$$R = \frac{E}{i + i'}, \qquad (1)$$

où i et i' sont pris en valeur absolue, sans tenir compte du sens des courants et où E désigne la force électromotrice de la batterie.

Il est en effet facile de démontrer que cette formule représente bien la résistance d'isolement. Désignons par r_0 la résistance entre la terre et le pôle négatif de la batterie, par $r_1, r_2, \ldots, r_{n-1}$ les résistances entre la terre et les connexions unissant les divers éléments, enfin par r_n la résistance entre la terre et le pôle positif de la batterie ; on a

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_0} + \frac{1}{r_1} + \cdots + \frac{1}{r_n}.$$

Quand le pôle négatif de la batterie est relié au sol par l'intermédiaire d'un ampèremètre sans résistance le potentiel de ce pôle devient

[1] Communication faite à la Société électrotechnique de Berlin.

celui du sol et les connexions des éléments présentent par rapport au sol des excès de potentiel, e, $2e$, $3e$,... ne, e étant la force électromotrice de chaque élément. Comme le courant qui traverse l'ampèremètre est égal à la somme des courants de fuite, on a

$$i = \frac{e}{r_1} + \frac{2e}{r_2} + \ldots\ldots + \frac{ne}{r_n}. \qquad (2)$$

Quand c'est le pôle positif qui est relié au sol par l'ampèremètre, on voit, par des considérations analogues, que l'on a alors

$$i' = \frac{e}{r_{n-1}} + \frac{2e}{r_{n-2}} + \ldots\ldots + \frac{ne}{r_0}. \qquad (3)$$

En additionnant ces deux dernières relations, il vient

$$i + i' = ne\left(\frac{1}{r_0} + \frac{1}{r_1} + \ldots\ldots \frac{1}{r_n}\right) = \frac{E}{R}.$$

d'où l'on déduit immédiatement la formule (1).

Lorsque la résistance d'isolement est très élevée, les intensités des courants qui traversent l'ampèremètre sont faibles et un ampèremètre sans résistance appréciable n'est pas assez sensible pour les mesurer avec précision. Il faut donc employer un instrument ayant une certaine résistance. Mais alors quand cet instrument est intercalé entre le sol et l'un des pôles de l'élément, ce pôle n'est plus au potentiel du sol par suite de la perte de charge due à la résistance de l'instrument. Si, par exemple, l'appareil est relié au pôle négatif, ce pôle se trouve à un potentiel inférieur à celui du sol puisque le courant qui traverse l'appareil est dirigé du sol vers le pôle. Il s'en suit que les courants dus aux défauts d'isolement sont dirigés du sol vers la batterie pour les défauts voisins du pôle négatif et au contraire de la batterie vers le sol pour ceux qui sont à une distance de ce pôle suffisante pour que l'accroissement de potentiel due aux éléments compris entre ces défauts et le pôle négatif soit plus grand que la perte de charge due à la résistance de l'ampèremètre. Le courant i traversant cet instrument n'est donc plus égal à la somme des courants de fuite et par conséquent les formules précédentes (2) et (3) ne sont plus exactes.

On peut néanmoins obtenir la résistance d'isolement par le procédé précédent en intercalant entre l'ampèremètre et le pôle de la batterie considéré une petite batterie auxiliaire disposée de manière à ce que sa force électromotrice, qui doit être plus grande que la chute de tension due à la résistance de l'ampèremètre, s'ajoute à celle de la batterie principale. En effet, dans ces conditions la relation (2) est remplacée par la suivante :

$$i = \frac{E' - (r + r')\,i}{r_0} + \frac{E' - (r + r')\,i + e}{r_1} + \ldots\ldots \frac{E' - (r + r')\,i + ne}{r_n},$$

E' désignant la force électromotrice de la batterie auxiliaire, $(r + r')i$ la chute de potentiel due au passage du courant dans l'instrument de résistance r et dans la batterie auxiliaire de résistance r'. Quand l'ampèremètre et la batterie auxiliaire sont connectées au pôle positif de la batterie principale, on a, au lieu de la relation (3)

$$i' = \frac{E' - (r + r')\,i'}{r_n} + \frac{E' - (r + r')\,i' + e}{r_{n+1}} + \ldots\ldots \frac{E' - (r + r')\,i' + ne}{r_0}.$$

En additionnant ces deux relations on obtient

$$i + i' = [2E' + ne - (r + r')(i + i')]\left(\frac{1}{r_0} + \frac{1}{r_1} + \ldots\ldots + \frac{1}{r_n}\right) = \frac{2E' + E - (r + r')(i + i')}{R}$$

d'où l'on déduit

$$R = \frac{E + 2E'}{i + i'} - (r + r'), \qquad (4)$$

formule qui permettra de calculer la résistance d'isolement si, outre les intensités i et i', on mesure la force électromotrice E' de la

batterie auxiliaire et les résistances r et r' de l'ampèremètre et de cette batterie.

Mais on voit facilement que l'on peut éviter ces dernières mesures. En effet pour que la formule (4) se réduise à la formule (1), il suffit que l'on ait

$$2E' - (i + i')(r + r') = 0$$

relation qui sera satisfaite si l'on a séparément les relations

$$E' - i(r + r') = 0, \qquad E' - i'(r + r') = 0,$$

qui expriment que les chutes de tension dues au passage des courants i et i' dans l'ampèremètre et dans la batterie auxiliaire sont compensées par la force électromotrice E' de cette batterie. Or on peut satisfaire à ces conditions soit en modifiant le nombre des éléments de la batterie auxiliaire et par suite la force électromotrice E' de cette batterie, soit en modifiant la résistance r du circuit de l'ampèremètre.

C'est cette dernière solution qu'adopte M. Liebenow. Il intercale en série entre l'ampèremètre et la batterie auxiliaire une résistance variable à volonté qu'il fait varier jusqu'à ce que la compensation ait lieu. Il reconnaît que cette compensation a lieu en plaçant un galvanomètre très sensible entre le sol et le pôle de la batterie principale. Quand la compensation est obtenue le galvanomètre ne dévie pas, puisqu'alors le pôle considéré est au même potentiel que le sol.

Ce dispositif permet donc de mesurer avec précision au moyen de deux lectures seulement, la résistance d'isolement d'une batterie, quelle que soit la grandeur de cette résistance. J. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Déperdition de l'électricité par divers corps électrisés et chauffés à une température modérée ;

Par J.-C. BEATTIE [1].

L'appareil employé dans ces recherches se compose d'une boîte en fer blanc AA (fig. 1) dont le fond porte une cloison transversale MM ; de part et d'autre de cette cloison se trouvent deux plaques de zinc isolées PP, fixées à un gros fil de cuivre w reposant sur un support en bois placé sur un disque de paraffine. Le fil ww est relié à un voltmètre multicellulaire Kelvin (modèle des laboratoires) ; un écran cylindrique SS protège le fil ; l'enveloppe du voltmètre est mise en communication avec l'écran et avec la boîte AA. Cette boîte AA est enveloppée d'une couche d'amiante maintenue par une toile métallique ; une rampe à gaz permet d'élever la température jusque vers 250-300°.

Les mesures de capacité faites sur l'ensemble formé par le condensateur APM et le voltmètre ont montré qu'une chute de potentiel de 1 volt correspondait à une perte d'électricité égale à 0,34 unité électrostatique de quantité d'électricité, et par conséquent qu'une chute de potentiel de 1 volt par minute correspondait à $\frac{0,34}{18 \times 10^{10}}$ ampère ou $0,189 \times 10^{-6}$ microampère.

Après s'être assuré du bon isolement de l'appareil aussi bien à froid que lorsqu'il est chauffé, M. Beattie a essayé si l'appareil était suffisamment sensible pour accuser de faibles pertes d'électricité ; pour cela il a recouvert les plaques de zinc d'un sel d'uranium puis de petits morceaux de phosphore et il a constaté que dans l'un et l'autre cas, surtout dans le second, la chute de potentiel était très marquée.

Dans des expériences préliminaires il a recherché l'effet de la vapeur d'eau sur la déperdition de l'électricité. Les bords des

[1] *Philosophical Magazine*, t. XLVIII, p. 97-106, juillet 1898.

plaques de zinc étaient repliées de manière à obtenir des récipients plats que l'on remplissait d'eau. On chauffait l'enveloppe et on observait la chute de potentiel pendant une demi-heure. M. Beattie a trouvé que dans ces conditions la déperdition était la même

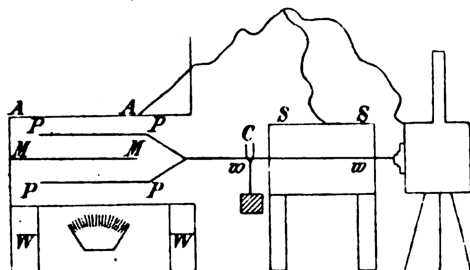


Fig. 1.

que lorsque les plaques étaient placées dans l'air atmosphérique à la température ordinaire bien que dix minutes seulement après l'expérience la vapeur commençât à sortir en abondance de l'appareil.

Les expériences dont la description fait l'objet principal de ce mémoire ont été conduites comme il suit : On charge les plaques P et le voltmètre à un potentiel d'environ 220 volts au moyen d'un électrophore, on abandonne l'appareil à lui-même et on observe la diminution du potentiel pendant cinq ou 10 minutes, on chauffe alors l'appareil et on continue à observer la diminution du potentiel, généralement pendant dix à vingt minutes. On cesse de chauffer et on continue les observations pendant cinq à dix minutes. La température était évaluée au moyen d'un thermomètre dont le réservoir était placé entre le fond de la boîte et la plus basse des plaques isolées. Les plaques de zinc étaient recouvertes de l'un des corps suivants : bichromate de potassium, iode, mélange de bichromate de potassium et iode, sodium, sel marin, mélange de sel marin et iode, chlorure de lithium, chlorure, bromure, iodure ou azotate de potassium, sulfure de baryum, de calcium et de zinc.

Quand aucune substance ne recouvrait les plaques de zinc la déperdition, très faible (13×10^{-8} microampère par minute), était, comme il a été dit, sensiblement indépendante de la température. Quand des plaques étaient recouvertes de bichromate de potassium ou d'iode, la déperdition était encore très faible (21×10^{-8} et 18×10^{-8} microampère par minute) et indépendante de la température. Au contraire avec le mélange de ces deux substances, la déperdition croissait très rapidement à mesure que la température s'élevait (17×10^{-8} microampère par minute à froid et $1\,000 \times 10^{-8}$ microampère à chaud). Avec le sodium et avec le chlorure de sodium la déperdition était sensiblement la même à chaud qu'à froid ; avec le mélange de ces deux substances il y avait un accroissement très marqué de la déperdition par le chauffage (56×10^{-8} à $1\,140 \times 10^{-8}$ microampère par minute). Le chlorure de lithium ne produit aucun effet sur la déperdition, mais le mélange de ce sel avec de l'iode donne lieu à une déperdition s'accroissant avec la température. Le chlorure de potassium produit un effet douteux, le bromure de potassium ne produit aucun effet, l'iodure de potassium au contraire produit un accroissement de la déperdition à chaud ; l'azotate de potassium ne produit rien. Les sulfures de baryum et de calcium ne donnent lieu également à aucun effet, même quand on y ajoute de l'iode, Le sulfure de zinc a un effet très marqué sur la déperdition.

Une seconde série d'expériences fut faite avec un appareil ne différant du précédent qu'en ce que les lames de zinc étaient remplacées par les lames de fer. La chute de potentiel était la même à chaud qu'à froid, soit que les plaques ne fussent recouvertes d'aucune substance, soit qu'elles fussent saupoudrées de bichromate de potassium, de sel marin, de sulfure de zinc, d'azotate de potassium ou de sulfure de baryum, chacune de ces substances étant seule ou additionnée d'iode. Avec un mélange de bioxyde de manganèse et de chlorate de potassium, ainsi qu'avec le permanganate de potassium on observait une chute très marquée du poten-

tiel avec l'élévation de température, que les plaques fussent chargées positivement ou négativement. Avec l'acétate de potassium la déperdition était 30 fois plus grande à chaud qu'à froid. L'acétate d'uranium produisait aussi une déperdition plus marquée à chaud qu'à froid, tandis qu'avec l'azotate d'uranium la perte de voltage était sensiblement la même à toute température. J. B.

Sur la double réfraction électrique du bois (¹). — **La relation de Maxwell entre les constantes électriques du bois de sapin** (²). — **Sur la conductibilité électrique du bois de sapin** (³).

Par D. Mazzotto

Les trois communications faites à l'*Accademia dei Lincei* par le professeur Mazzotto sont l'exposé des recherches qu'il a entreprises dans le but de vérifier si la relation de Maxwell $n^2 = K$ est applicable aux constantes du bois, et en particulier du bois de sapin.

Le premier mémoire a pour objet la détermination des indices de réfraction électrique du bois dans la direction des fibres et dans la direction perpendiculaire.

L'appareil employé est celui de Lecher modifié, entre autres, par l'addition de deux appendices aux fils secondaires.

Les blocs de bois sont des parallélépipèdes dont la plus longue arête est parallèle aux fils secondaires et qui sont symétriquement placés par rapport à ces fils. Ils sont formés de trois parallélépipèdes de même longueur et de même hauteur accolés par une pince de bois. Les fils sont encastrés dans une rainure creusée le long des faces latérales du bloc central dont la largeur, 6 cm, est précisément égale à la distance des fils. Les fils sont reliés par deux ponts, que nous appellerons p_1 et p_2, à l'entrée et à la sortie du bois.

(¹) *Rendiconti dell Accad. dei Lincei*, t. VI, 2ᵉ sem., p. 73, 1ᵉʳ août 1897.

(²) *Ibid.*, t. VI, 2ᵉ sem., p. 95, 15 août 1897.

(³) *Ibid.*, t. VI, 2ᵉ sem., p. 134, 5 septembre 1897.

Un troisième pont p_3 peut être déplacé au-delà du bloc de bois et l'*explorateur* est situé entre ce pont p_3 et le bloc. On détermine la position p_3, pour laquelle il y a étincelles à l'explorateur et on modifie les appendices pour obtenir le maximum d'effet, on détermine ensuite la position p_4 plus éloignée et qui donne encore maximum d'étincelle à l'explorateur.

La distance $p_3 p_4$ est égale à la demi-longueur d'onde dans l'air pour les vibrations secondaires considérées : soit $\frac{\lambda}{2}$. Il y a résonance entre les quatre demi-ondes comprises entre A et p_1, p_1 et p_2, p_2 et p_3, p_3 et p_4.

Pour déterminer la longueur d'onde dans le bois, il faut faire subir à la distance $p_1 p_2$ une correction due à la présence des points terminaux p_1 et p_2.

« On prend un parallélépipède de longueur double, 159,6 cm, de façon qu'il contienne deux demi-ondes. La demi-onde correspondante dans l'air est de 145,2. On coupe alors le bloc par le milieu et on opère sur l'une des moitiés (79,7 cm), la demi-onde correspondante dans l'air est 150,3. En faisant la proportion, on trouve que si les longueurs des deux blocs étaient 162,3 et 78,3, la demi-onde correspondante dans l'air aurait la valeur commune 147,7 moyenne des deux précédentes. S'il n'y avait pas de corrections, les deux longueurs que doivent avoir les blocs seraient doubles l'un de l'autre. La correction cherchée est donc $162,3 - 2 \times 78,3 = 5,7$. »

Il résulte des expériences que, en donnant aux lames latérales une épaisseur de 4 cm, on obtient des valeurs peu différentes de celles que l'on obtient avec des épaisseurs de 18 et 27 cm. Au-dessous de 4 cm, l'indice obtenu est moindre.

Les expériences ont été faites en disposant les fibres :

1° Dans le sens des fils ;

2° Perpendiculaires aux fils et horizontales ;

3° Perpendiculaires aux fils et verticales.

Les conclusions sont les suivantes :

L'indice de réfraction électrique varie notablement d'une espèce de bois à l'autre et augmente avec la densité.

Dans un même bois, les vibrations électriques perpendiculaires aux fibres se propagent plus rapidement que les vibrations parallèles aux fibres; l'indice dans le premier cas est plus petit que dans le second.

La différence des deux indices est plus petite dans les bois denses et compacts que dans les bois légers.

Dans le second mémoire, l'auteur a rapporté la détermination des deux constantes diélectriques principales du bois de sapin.

L'appareil est le même que précédemment mais le bloc et les appendices sont enlevés. Les deux fils secondaires sont reliés à leur extrémité libre aux deux armatures d'un condensateur (plateaux de 8 cm de diamètre), entre lesquelles sont disposées les pièces de bois.

Les plaques de bois sont des carrés de 25 cm de côté, leurs hauteurs étaient 0,955, 1,85 et 2,60 cm, pour chacune de ces dimensions il y avait une plaque avec fibres perpendiculaires à la base et une avec fibres parallèles.

L'auteur avait d'abord placé l'explorateur à petite distance d'un condensateur, les nœuds obtenus en déplaçant le pont étaient alors les mêmes, que les fibres fussent perpendiculaires ou parallèles aux armatures, quelle que fût l'épaisseur des lames; elles étaient les mêmes encore si les deux armatures étaient en contact. Mais les différences eurent lieu en mettant l'explorateur directement sur les armatures et c'est dans ces conditions que les expériences ont été faites.

On obtenait trois systèmes de nœuds; pour avoir les nœuds d'un même système on laissait le pont sur l'un d'eux et on cherchait les maximum d'effets à l'explorateur avec un deuxième pont.

Le premier système avait un nœud unique à une distance δ_1 du condensateur (longueur d'onde de 2 200 à 2 800 cm); le deuxième système avait deux nœuds, l'un près du zéro de l'échelle et l'autre à une distance du condensateur $\delta_2 < \delta_1$ (longueur d'onde de 900 à 1 100 cm); enfin le troisième système avait trois nœuds, l'un à $\delta_3 < \delta_2$, un autre voisin des lames secondaires et le troisième au milieu des deux (longueur d'onde de 530 à 570 cm).

Pour avoir la capacité du condensateur correspondant aux distances trouvées, l'auteur employait un condensateur à air avec déplacement micrométrique et déterminait les valeurs que prenaient $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ pour les différents écartements des armatures, d'où les valeurs de la capacité pour les longueurs $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ trouvées précédemment.

La constante diélectrique s'obtient en divisant chacune des capacités ainsi calculées par la capacité du condensateur à air de même écartement.

Les expériences ont été faites avec du bois au degré d'humidité naturelle obtenu en laissant longtemps le bois exposé à l'air et avec du bois desséché dans une étuve à air à 100°; dans ce dernier cas, le bois perdait au bout d'un temps assez prolongé 13 p. 100 de son poids.

En rapprochant les résultats obtenus précédemment de ceux qu'ont donnés ces dernières expériences, l'auteur est arrivé aux conclusions suivantes pour le bois de sapin, conclusions qui s'étendent vraisemblablement aux autres bois.

Aux deux indices principaux de réfraction, correspondent deux constantes diélectriques différentes et la différence entre les deux valeurs de n dans le sens perpendiculaire et le sens parallèle aux fibres, coïncident sensiblement avec la différence qui existe entre les valeurs correspondantes de $\sqrt{K}$.

Les deux constantes diélectriques diminuent fortement par la dessication et il en est de même des deux indices; la différence des nouvelles valeurs de n est encore égale à la différence des valeurs correspondantes de $\sqrt{K}$, mais elle est sensiblement moindre que celle obtenue avec le bois naturel.

Les constantes obtenues dans ces recherches ont des valeurs plus élevées lorsque la

force électrique vibre parallèlement aux fibres que lorsqu'elle vibre perpendiculairement; en outre elles diminuent rapidement quand on soumet les pièces de bois à la dessication. Or, les cas où les constantes ont les plus grandes valeurs sont précisément ceux où la conductibilité électrique est la plus grande, et la théorie montre que indices et constantes diélectriques ont, avec la méthode précédente et dans le cas de corps non parfaitement isolants, des valeurs apparentes d'autant supérieures aux valeurs réelles que la conductibilité est plus élevée.

C'est alors pour voir si cette conductibilité ne pourrait expliquer les différences obtenues entre n et $\sqrt{K}$, que l'auteur a déterminé la conductibilité du bois de sapin, comme il l'a exposé dans son troisième mémoire. Il a auparavant cherché à partir de quelle valeur de la conductibilité l'influence sur les résultats serait sensible entre les limites de précision des expériences.

La relation de Maxwell modifiée dans le cas des corps imparfaitement isolants, a été donnée par Cohn [1]

$$K = n^2 - (\sigma\lambda_1 c)^2$$

λ, longueur d'onde dans l'air;

λ_1, longueur d'onde dans le diélectrique;

σ, conductibilité en unités électromagnétiques;

c, vitesse de la lumière.

Drude [2] déduit de là la relation

$$n = \sqrt{K}\sqrt{\frac{1+\sqrt{1+4s^2}}{2}} \qquad (1)$$

en posant

$$s = \frac{c\sigma\lambda}{K}$$

Il montre aussi [3] qu'entre la constante K d'un corps imparfaitement isolant et la constante K_1 déduite par la méthode de Lecher, on a

$$K_1 = K(1+4s^2) \qquad (2)$$

Il résulte de là que les diminutions de K_1 et de n par la dessication pourraient s'expliquer par une diminution correspondante de la conductibilité, puisque σ et S sont proportionnels. Il en serait de même pour la direction perpendiculaire aux fils; en effet de (1) et (2) on déduit $1+4s^2$ étant plus grand que 1, que $\sqrt{K_1}$ est plus grand que n; la différence $\sqrt{K_1} - n$ augmente avec la conductibilité.

En posant $m = \sigma c \lambda$ on déduit des égalités (1) et (2)

$$m^2 = \frac{n^2}{2}\left(\sqrt{K_1(8n^2+K_1)} - 2n^2 - K_1\right) \qquad (3)$$

formule qui permet de calculer la conductibilité $\sigma = \frac{m}{c\lambda}$ connaissant n et K_1.

On trouve aussi, au moyen de (1), (2) et (3) que la conductibilité absolue σ devrait avoir:

au moins la valeur 9×10^{-13} pour produire une variation de 1 p. 100 sur n;

au moins $0{,}210 \times 10^{-3}$ pour produire même variation sur K;

au moins $0{,}055 \times 10^{-3}$ pour produire même variation sur $\sqrt{K} - n$.

Ce sont là les limites de la conductibilité au-delà desquelles elle pourrait influencer les résultats de l'auteur qui a admis une précision de 1 p. 100 pour ceux-ci.

En déterminant la conductibilité du sapin par la mesure des différences de potentiel aux extrémités d'une résistance connue et à celles d'une lame de bois insérée dans un même circuit, on a trouvé pour valeur maximum 280×10^{-19} dans le cas du bois à l'humidité naturelle et beaucoup moins pour le bois desséché.

La conductibilité n'a donc pas d'effet sensible sur les résultats précédemment données. Pourtant elle pourrait peut-être avoir une influence partielle sur la différence $\sqrt{K} - n$, car il ne s'agit pas d'un corps ayant même conductibilité dans des directions parallèles.

[1] *Wied. Ann.*, t. XLV, p. 375, 1892.

[2] *Abhandlung. des K. Sachs. Gesellsch.*, t. XXIII, p. 111, 1896.

[3] *Bericht. des K. Sach., Gesell.*, 7 décembre 1896, p. 26.

puisque l'on peut considérer le bois dans la direction des fibres comme un faisceau de fils conducteurs séparés par une substance beaucoup moins conductrice. Enfin la diminution des valeurs par la dessication semble pouvoir être attribuée à la disparition de l'eau hygroscopique qui agirait suivant la loi des mélanges en vertu de sa constante diélectrique élevée. G. G.

Période des vibrations dans un appareil de Lecher avec appendices aux fils secondaires;

Par D. MAZZOTTO (1).

L'idée de l'auteur est de faire varier la longueur d'onde des vibrations émises par l'appareil de Lecher en suspendant aux fils secondaires entre les condensateurs et le premier pont des fils plus ou moins longs.

Aux points de suspension de ces appendices, l'onde se bifurque ; une partie continue son chemin dans les fils principaux; l'autre va se réfléchir à l'extrémité des appendices et revient ensuite vers les fils principaux. Les ondes réfléchies sur le premier pont éprouvent la même division en ces points.

En généralisant le calcul indiqué par Drude, M. Mazzotto obtient l'équation qui donne les longueurs d'onde du système ainsi modifié

$$8\pi C \lg \frac{d}{R} = \lambda \frac{\cos 2\pi \frac{a'}{\lambda} - \operatorname{tg} 2\pi \frac{b}{\lambda} - \operatorname{tg} 2\pi \frac{a}{\lambda}}{\left(\cos 2\pi \frac{a'}{\lambda} - \operatorname{tg} 2\pi \frac{b}{\lambda}\right) - \operatorname{tg} 2\pi \frac{a}{\lambda} + 1}$$

dans laquelle C est la capacité du système de condensateurs, d la distance des fils parallèles, R leur rayon, λ la longueur d'onde, a et a' respectivement les distances du point d'attache des appendices au condensateur et au premier pont, b la longueur de ces appendices.

Les résultats expérimentaux sont d'accord avec cette formule, au moins en allure générale, les nombres calculés sont toujours plus petits que les nombres trouvés, sans doute parce que la réflexion des ondes ne se fait pas en réalité à l'extrémité du fil, à cause de la capacité de cette extrémité, il faudrait dans le calcul donner au fil une longueur un peu plus grande que la longueur réelle.

M. L.

(1) *Nuov. Cim.*, sept. 1897.

Vibrations simultanées dans l'appareil de Blondlot;

Par D. MAZZOTTO (1).

L'excitateur de Blondlot donne pour chaque position du premier pont plusieurs vibrations de longueur d'onde décroissante. Mais les longueurs d'onde ne forment pas du tout une série harmonique. M. Mazzotto a trouvé que la longueur d'onde fondamentale ou primaire varie avec la capacité du condensateur, tandis que la longueur d'onde de la vibration secondaire varie peu avec cette capacité. Ce résultat n'est pas d'accord avec ceux que j'ai moi-même obtenus : c'est au contraire le rapport entre ces deux longueurs d'onde que j'ai trouvé indépendant de la capacité.

Les rapports entre les longueurs d'onde des vibrations successives qu'il indique sont aussi totalement différents de ceux que j'ai obtenus dans des conditions comparables ; la méthode d'observation qui m'a servi est si simple et si directe qu'elle ne me paraît pas comporter d'erreurs aussi grandes ; je ne vois pas actuellement d'explication satisfaisante de ces écarts.

M. LAMOTTE.

(1) *Nuov. Cim.*, sept. 1897.

CHRONIQUE

Décharge électrique dans les gaz raréfiés, phénomène nouveau. — M. Fœmm (*Wied-Ann.*, t. LXVIII, p. 620-622) a observé un phénomène non encore signalé, en étudiant la décharge dans un tube muni de deux électrodes extérieures en forme d'anneau.

Concentriquement aux électrodes se forme sur la paroi extérieure du tube un anneau bleu : du centre de cet anneau part de la lumière, positive selon toute apparence, qui remplit toute la section du tube et se stratifie peu à peu.

Si on évacue davantage le tube, la lumière bleue s'étend tant sur les côtés de l'anneau que vers l'axe du tube, tandis que la lumière positive disparaît progressivement. Puis on observe alors un phénomène remarquable. A mesure que le vide augmente, la lumière bleue se détache du verre vis-à-vis de l'anneau, se contracte vers le centre dans le plan de cet anneau, de sorte qu'elle prend la forme d'un cône à deux nappes dont le sommet se trouve au centre de l'anneau.

La partie antérieure se transforme ensuite en un rayon allongé d'un gris bleuâtre, tandis que la partie postérieure (c'est-à-dire située du côté de l'autre électrode) du cône, prend la forme d'un bourrelet.

Les rayons gris bleuâtre présentent toutes les propriétés des rayons cathodiques : ils se propagent indépendamment de la position du deuxième anneau, sont pour la plupart normaux au plan de l'anneau, quelle que soit l'inclinaison de celui-ci sur l'axe du tube. Ils provoquent une vive fluorescence du verre là où ils frappent la paroi et mettent un radiomètre en mouvement. Ils sont déviés par l'aimant et tournent alors autour du centre de l'anneau, leur point d'émission. Le bourrelet est moins sensible à l'action de l'aimant.

Quand on emploie deux électrodes, on observe ces rayons gris-bleu seulement entre les deux électrodes : si on n'emploie qu'une seule électrode, en reliant au sol l'autre pôle de la bobine, on obtient ces rayons des deux côtés de l'électrode.

Lorsque le vide est assez avancé, les rayons deviennent moins visibles et ne se reconnaissent plus qu'à la fluorescence du verre : il se forme sur les deux côtés des anneaux une bande noire sur le verre, à laquelle succède une large bande fluorescente.

Si on intercale entre les deux électrodes un disque de métal qui occupe aussi exactement que possible toute la section du tube, ce disque devient électrode : il émet par son centre, normalement à sa surface des rayons intenses, qui provoquent une vive fluorescence et donnent naissance à des rayons de Rœntgen : il en est de même si le disque est percé en son milieu. Avec plusieurs disques, les phénomènes sont les mêmes : chacun d'eux devient une électrode.

M. L[

Transformation magnétique du fer. — Cette transformation, d'après les observations de M. Curie et de M. Osmond sur le magnétisme du fer, ne serait pas brusque, comme cela a lieu dans tous les phénomènes similaires. D'après M. Le Chatelier (*Comptes rendus*, t. CXXIX, 31 juillet 1899), les expériences faites ne sont pas décisives et cela pour deux motifs : on n'a pas réussi à séparer le phénomène réversible des retards à la transformation ; d'autre part, le magnétisme doit, comme la chaleur, le travail mécanique, être une des conditions déterminantes des transformations, et alors la continuité ou la discontinuité dans la trausformation dépendra des circonstances de l'expérience. C'est ainsi qu'à pression constante un liquide présente un point d'ébullition défini, tandis qu'il n'en présente pas à volume constant.

Les tentatives qu'a faites M. Le Chatelier pour étudier le changement de dimensions correspondant à cette transformation ont échoué ; ce changement doit, par suite, être très faible, inférieur à 0,1 mm sur 100 mm, ce qui correspond à la limite de précision de ses observations.

Des recherches semblables faites sur le nickel lui ont montré que la transformation correspondant à la perte des propriétés magnétiques se fait certainement d'une façon continue, dans un intervalle notable de température, de 350° à 380°.

On est donc en droit, conclut M. Le Chatelier, d'admettre par raison d'analogie que, dans le fer comme dans le nickel, la transformation en question se fait d'une façon progressive, même en dehors de tout champ magnétique. C'est là un fait très important, car il constitue un exemple unique parmi toutes les transformations connues des corps définis.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XX. Samedi 26 Août 1899 6e Année. — N° 34.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

MOUVEMENTS PENDULAIRES DANS LES MACHINES COUPLÉES EN PARALLÈLE

Les distributions par courant alternatif se présentent comme la solution la plus économique de bien des problèmes, puisqu'on peut aborder très facilement les hautes tensions avec des machines simples et robustes. Elles ont de plus le caractère d'une extrême souplesse, puisqu'à l'heure actuelle on sait transformer industriellement le courant alternatif absolument comme l'on veut et avec de très bons rendements.

Toutefois, il faut, sous peine de graves mécomptes, se méfier de certaines propriétés spécifiques du courant alternatif, et parmi celles-ci sont les phénomènes de résonnance. Parfois, la constitution même du réseau, la nature des appareils d'utilisation causent le renforcement de certaines harmoniques de la force électromotrice produite à la station centrale, alors les isolants crèvent et il faut de coûteuses réparations. Parfois l'action mutuelle de groupes travaillant en parallèle vient renforcer ou abaisser la force électromotrice de la distribution, les machines se décrochent ou tout au moins de graves perturbations sont créées dans la distribution. Ces phénomènes, qui affectent les groupes couplés en parallèle, sont dus aux *résonances électromécaniques*. G. Kapp a récemment publié sur ce sujet des considérations fort instructives [1].

Le savant professeur s'occupe des dynamos à vapeur, groupes composés d'un moteur à vapeur et d'un alternateur rigidement accouplés. On observe parfois, dit-il, que deux groupes qui se sont laissés coupler en parallèle sans difficultés, présentent, au bout de quelque temps de marche excellente, des phénomènes pendulaires : il se produit un mouvement ondulatoire de va et vient du travail électrique entre chacune des deux machines couplées, de forts courants de compensation circulent entre elles, et bientôt la tension au

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XX, n° 7, 16 février 1897. Voir aussi son ouvrage : *Dynamomaschinen für Gleich und Wechselstrom* (3e édition, 1899, chap. XVII, p. 373-409).

tableau oscille et les plombs sautent. Ces phénomènes se développent d'ailleurs très lentement.

Ces perturbations ne sont imputables qu'aux procédés employés pour entrainer les alternateurs. Il faut bien remarquer qu'elles ne sont pas dues à une imperfection de la machine à vapeur. En effet, dans la pratique, on se contente d'un coefficient de régularité de 1 à 3 p. 100 pour cette machine à vapeur, et ceci suffit le plus généralement. Pourtant ce coefficient de régularité peut varier dans de grandes limites tant un alternateur exerce une action puissante d'asservissement sur le moteur à vapeur qui le conduit. Enfin il n'y a pas de relation bien nette entre la valeur du coefficient de régularité et l'apparition de mouvements pendulaires. Il suffit de rechercher ce qui peut osciller dans une dynamo à vapeur pour se rendre compte que l'apparition d'oscillations provient uniquement du *mode d'action* du régulateur.

M. Kapp donne la description du phénomène :

Supposons une poulie, de même axe que le volant de la machine à vapeur : cette poulie tourne avec une vitesse uniforme dans un plan parallèle à celui du volant et le nombre de tours des deux est le même.

Un observateur regardant le volant est lié à la seconde roue. Si le volant a une vitesse absolument constante, il paraîtra immobile à l'observateur ; si cette vitesse est variable, quoique sa valeur moyenne corresponde au coefficient de régularité de la machine, pour l'observateur, le volant semblera osciller à droite et à gauche. La durée de la période de ces oscillations sera égale à la durée d'un tour si parmi les impulsions que donne la machine à chaque révolution, une seule est prépondérante : si, au contraire la machine à vapeur reçoit, par tour, deux ou plusieurs impulsions, toutes de même importance, le temps périodique des oscillations est une fraction correspondante de la durée d'un tour.

Comment se comporte l'alternateur vis-à-vis de ces oscillations à courte période. S'il jouait le rôle d'un volant ordinaire, le régulateur ne devrait pas entrer en jeu pour si peu. Mais il y a ici une complication : à toute variation de vitesse correspond une variation de force électromotrice produite : des différences entre les grandeurs des forces électromotrices des machines couplées font naître des courants synchronisants, vis-à-vis desquels l'alternateur n'est pas inerte.

« Supposons d'abord constante la tension efficace aux barres de distribution et représentons la tension instantanée par la projection d'un vecteur tournant avec une vitesse uniforme. La force électromotrice induite peut aussi être représentée par la projection d'un vecteur tournant, mais ce vecteur n'a pas une vitesse uniforme, il a, sur le vecteur de la tension au tableau, une avance ou un retard correspondant aux oscillations du volant. Considérons seulement l'instant où le vecteur de l'induit, prenant de l'avance, passe sur le vecteur de la tension aux barres du tableau. A ce moment, la puissance fournie par l'alternateur vaut exactement celle qui lui est communiquée par le moteur. Comme les masses régulatrices renferment un surplus d'énergie potentielle par rapport à celle qui correspond à leur vitesse moyenne, le vecteur de l'induit ne peut pas rester dans cette position relative, il est poussé en avant et cela, jusqu'à ce que ce surplus d'énergie soit dépensé en travail. Quand cet état est atteint, le régulateur a sa vitesse moyenne ; la puissance fournie par l'alternateur est, puisque le vecteur de la force électromotrice induite a été poussé en avant, plus considérable que la puissance communiquée par le moteur, il y a donc alors un déficit de travail. Pour que ce dernier se trouve compensé, les masses régulatrices doivent abandonner encore plus d'énergie moyennant une diminution de vitesse. Le vecteur de l'induit va donc revenir vers l'arrière et se rapprocher du vecteur des barres. A l'instant où il passe sur ce dernier, la puissance de l'alternateur est de nouveau égale à la puissance motrice, mais la vitesse du régulateur est tombée en

dessous de sa valeur normale, de sorte que le vecteur de l'induit reste encore en arrière, et que la puissance fournie par l'alternateur diminue. Nous avons donc encore une fois, pour le moteur, excès de puissance, qui va se transformer pour donner une accélération au régulateur, jusqu'à ce que ce dernier soit ramené à sa vitesse normale et que le vecteur de l'induit passe de nouveau sur le vecteur des barres, avec tendance à l'avance. Les circonstances qui viennent d'être décrites correspondent à une oscillation complète de l'induit. Si cependant la machine à vapeur exerçait un moment moteur absolument constant, une oscillation de ce genre, même artificiellement provoquée (par exemple en ouvrant et fermant rapidement le circuit) ne pourrait pas se continuer longtemps. Par suite des frottements mécaniques, magnétiques et électriques, les oscillations s'amortissent rapidement comme celles d'un pendule soumis à des frottements sensibles. Si les impulsions données par la machine à vapeur se succèdent à des intervalles de temps qui coïncident avec la période du mouvement de l'armature, et si ces impulsions sont juste assez fortes pour compenser les pertes qui, autrement, amortiraient les oscillations de l'armature, ces dernières subsistent, mais il suffit que les impulsions soient un peu plus fortes pour que la résonance intervienne, pour que les oscillations prennent de plus en plus d'amplitude, et enfin pour que les fâcheux phénomènes pendulaires ne cessent plus de se développer ».

Il faut chercher à amortir ces oscillations. M. M. Leblanc [1] a indiqué un moyen qui n'est qu'une interprétation électrique de l'amortissement du mouvement d'un corps plongé dans un liquide visqueux. On entoure chaque pôle magnétique d'une forte bague de cuivre : tant que le vecteur de l'induit coïncide avec le vecteur des barres, les rubans de cuivre des pôles n'exercent aucune action mécanique, mais aussitôt que l'induit prend de l'avance ou du retard, l'induit se trouve freiné dans le cas de l'avance et accéléré dans le cas contraire.

Ce moyen est coûteux et exige de la place. Il faut assujettir solidement les bagues si ce sont les inducteurs qui tournent.

Ce qui vaut le mieux c'est de choisir le moteur et l'alternateur de telle sorte que la période d'oscillation naturelle de la partie électrique soit suffisamment différente de la période d'oscillation de la machine à vapeur. Pour permettre ce choix judicieux, M. Kapp indique les calculs qu'il convient de faire.

« Soient E_gO, le vecteur de la force électromotrice au tableau et OE_k le vecteur de l'induit. Leur différence $OB = E$ représente la

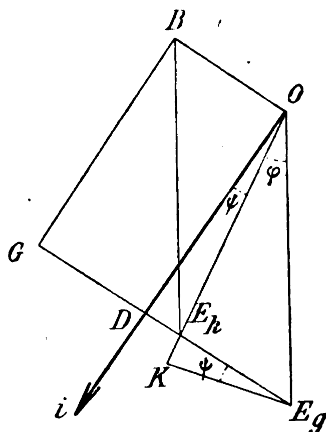


Fig. 1.

force électromotrice sous l'action de laquelle le courant I circule dans l'induit. On a toujours :

$$E = RI + L\frac{dI}{dt}.$$

RI représente la chute ohmique dans l'induit et dans les connexions avec les barres du tableau. L est le coefficient de self-induction de cet ensemble. R est très petit; la chute ohmique ne dépasse pas 2 p. 100 de la tension totale; on est autorisé à dire que OB n'est employé qu'à vaincre la force électromotrice de self-induction e_s, et aussi à supposer que le vecteur du courant Oi est perpendiculaire sur OB. Sous le nom de self-induction, il faut comprendre, non pas le

([1]) *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 123.

véritable coefficient de self-induction de l'induit, mais un coefficient idéal choisi de manière à comprendre en même temps l'action de la self-induction et celle de la réaction d'induit. Nous avons alors la relation.

$$e_0 = \omega L i_0,$$

où

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

» Des tâtonnements permettent de trouver la valeur de L. Il suffit de mettre en court circuit l'alternateur excité de manière à produire à vide e' volts, puis de mesurer le courant de court circuit.

» On a :

$$e' = \omega L i'_0$$
$$L = \frac{e'}{\omega i'_0}.$$

» Il n'est pas nécessaire de faire l'expérience à pleine excitation. La caractéristique en court-circuit est, on le sait, très voisine d'une droite, de sorte que l'excitation et i'_0 varient dans le même rapport. Soit i_0 la valeur du courant de court-circuit correspondant à l'excitation normale,

$$i_0 = \frac{OE_k}{\omega L} = \frac{e}{\omega L}.$$

» Le travail de la machine est évidemment proportionnel à l'aire du rectangle OBGD, puisqu'il vaut

$$P = ei \cos \psi,$$

ψ est le décalage entre la force électromotrice aux bornes de la machine et le courant.

» Donc :

$$P = \frac{e_s}{\omega L} e \cos \psi$$
$$P = e_s i_0 \cos \psi.$$

» Par E_g menons $E_g K$, perpendiculaire à OE_k, on voit que :

$$E_g E_k = e_s,$$

et

$$E_g E_k \cos \psi + KE_g$$
$$e_s \cos \psi = OE_g \sin \varphi,$$

ψ est le décalage entre la force électromotrice aux bornes de la machine et la force électromotrice aux barres du tableau e_0. On a donc finalement :

$$P = i_0 e_0 \sin \varphi.\ (^1)$$

» Dans les alternateurs diphasés, la puissance est naturellement le double, dans les triphasés, le triple. L'égalité relative aux puissances peut être représentée graphiquement.

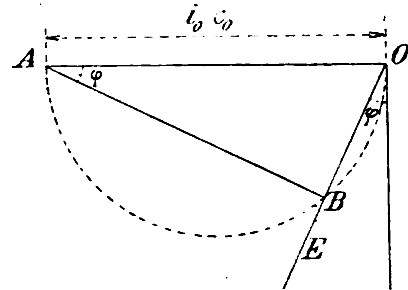


Fig. 2.

Un demi-cercle tracé de OA comme diamètre est le lieu de tous les points B dont l'éloignement de O, à l'échelle choisie pour OA, exprime la puissance. Si, par suite d'une impulsion communiquée à l'induit par le moteur, le vecteur OE est poussé en avant, φ augmente, B recule, la puissante augmente. Si l'induit reste en arrière, φ diminue, le point B avance vers O, et la puissance diminue. Dans les machines modernes, la valeur normale de φ est de l'ordre de 10 à 20°. Nous ne commettons donc pas une grosse erreur en admettant que dans le voisinage de la valeur normale de φ, le sinus est proportionnel à l'angle. Si nous avons trouvé l'angle par l'équation précédente, nous pourrons calculer facilement l'avance linéaire *b* du vecteur de l'induit qui correspond à cet angle, d'après la relation

$$\frac{\text{avance linéaire}}{\text{distance des axes des pôles}} = \frac{\varphi}{180°}.$$

» La force tangentielle, avec laquelle la

(1) Dans l'ouvrage : *Dynamomaschinen*..., M. Kapp fait remarquer que cette expression suppose que *e* est constante, c'est-à-dire que l'induit n'exerce aucune action magnétisante ou démagnétisante sur le champ.

machine à vapeur agit sur l'induit, est, en kilogrammes :

$$T = \frac{102\,P}{v}.$$

» Ici v est, en mètres, la vitesse linéaire du point auquel nous supposons appliquée la force tangentielle et P est la puissance en kilowatts. On est dans les meilleures conditions quand on transporte ce point dans l'entrefer entre l'induit et le pôle, alors v est. en somme, la vitesse circonférencielle de la machine.

» La force tangentielle peut, sous la supposition précédente de proportionnalité entre l'angle φ et son sinus, être calculée d'après l'équation

$$T = cb$$

c est un coefficient qui, entre des limites assez grandes de φ, peut être considéré comme constant. (M. Kapp cite un exemple où pour $\varphi =$ en nombre rond 7, 14 et 30, on avait respectivement pour c les valeurs 97 000, 97000 et 93 500.) Pour exprimer c dans l'équation précédente, il faut considérer que T est en kilogrammes et b en mètres. Si maintenant l'induit oscille autour de la position d'équilibre caractérisée par une avance linéaire b donnée, il sera, en chaque point, sollicité vers cette position d'équilibre par une force égale au produit de c par cette déviation. Le problème se trouve donc ramené au cas simple de l'oscillation rectiligne d'un corps pesant, autour de sa position d'équilibre sous l'action d'une force dirigée vers cette position et proportionnelle à la distance. Soient F cette force, en kilogrammes, et x, la distance de la position d'équilibre en mètres.

$$F = cx.$$

» Désignons par m la masse de tous les organes mobiles réduite sur la circonférence de l'induit, la période complète (durée d'une oscillation double de l'ensemble), en secondes vaut

$$L_a = 2\pi\sqrt{\frac{m}{c}}.$$

» Soient Ω le moment d'inertie de toutes les masses tournantes, par rapport à l'axe de rotation et R le rayon de l'induit, on aura d'une façon générale :

$$m = \frac{\Omega}{R^2}$$

» Si le régulateur n'est pas dans le volant, ou si sa masse est petite, si enfin on peut négliger le poids des bras du volant devant celui de la jante π', la masse du volant de rayon R', réduite sur la circonférence de l'induit de rayon R, sera :

$$m = \frac{\pi'}{g}\cdot\left(\frac{R'}{R}\right)^2$$

où $g = 9{,}81$.

» Comme on le voit, le temps d'oscillation de l'induit ne dépend de sa puissance, qu'en tant que c varie un peu avec l'angle φ. Cette variation, comme on peut facilement s'en convaincre, en calculant après coup des machines, ne s'élève pourtant que de très peu pour cent, lorsque la charge varie de 0 à 100 p. 100. Puisque c est sous un radical, cette faible variation n'a aussi qu'une très faible influence sur la durée de la période et l'on peut dire que chaque alternateur est caractérisé par un temps périodique dépendant, non de sa charge, mais uniquement de ses propriétés électriques ou mécaniques.

» Nous appellerons τ_m le temps périodique de la machine à vapeur. Supposons, par exemple une machine compound tandem, faisant un tour en α secondes. Cette machine donne deux impulsions par tour : on a donc $\tau_m = \frac{\alpha}{2}$.

» En général le danger d'avoir des mouvements pendulaires est le plus grand lorsque $\tau_m = \tau_a$. Il peut également s'en produire si τ_a est un multiple impair de τ_m. On conçoit donc qu'une augmentation des masses régulatrices peut, en maintes circonstances, avoir un effet nuisible. Le cas de $\tau_m > \tau_a$ quoique peu probable, peut cependant, dans les induits sans fer, pour lesquels m est très petit, se produire si on épargne trop le

métal dans le volant. Comme on le comprend facilement, le rapport $\frac{\tau_a}{\tau_m}$ devient dangereux lorsqu'il avoisine ou prend une des valeurs :

$$\frac{1}{4},\ \frac{1}{3},\ \frac{1}{2},\ 1,\ 3,\ 5.$$

» Toutes les valeurs intermédiaires sont sans danger. Si on trouve que, dans une machine construite, le rapport $\frac{\tau_a}{\tau_m}$ est voisin d'une de ces valeurs dangereuses, on peut, pour pallier à cet inconvénient ou bien appliquer aux pôles des bagues de cuivre, ou bien agir sur l'une des valeurs τ_a ou τ_m.

» Une modification des appareils de distribution permettrait de changer la valeur de τ_m ; mais une amélioration de cet ordre n'est généralement pas possible : il reste la ressource, bien coûteuse, de rendre le volant plus lourd ou plus léger. Au contraire, on peut, sans grande dépense, par une légère adjonction à l'alternateur, arriver au même résultat que par une augmentation du volant. Il suffit de mettre en avant de la machine une bobine de réaction. Ainsi, on diminue c et on augmente le temps d'oscillation de la dynamo. Ce moyen a déjà été fréquemment appliqué avec succès. Il faut remarquer que les alternateurs à pôles massifs sont moins exposés au danger du mouvement pendulaire que ceux à pôles feuilletés, parce que l'action des masses d'acier est analogue, quoique plus faible, à celle des rubans de cuivre entourant les pôles. »

Je dois à l'obligeance de M. Chevrier, ingénieur à l'usine centrale du Secteur de la Rive gauche, quelques renseignements permettant d'appliquer aux alternateurs de cette station les calculs de Kapp.

Les alternateurs sont du type Ganz-Zipernowsky, à 40 pôles :

Le diamètre extérieur de l'inducteur tournant est de	2,992 mètres.
Tension aux barres du tableau. .	3000 volts.
Intensité du courant de la machine (pleine charge)	140 ampères.
Nombre de tours par minute . .	120
Courant d'excitation en pleine charge	140 ampères.
Courant de court circuit i_0 (calculé)	297 ampères.

Pour $\cos\varphi = 0{,}70$.

$$m = 372$$
$$b = 0{,}0509$$
$$c = 295000$$
$$T = 15000$$
$$\tau_a = 0{,}223$$

La machine à vapeur est compound, donnant par conséquent 4 impulsions par tour.

$$\tau_m = 0{,}125 \text{ secondes}$$
$$\frac{\tau_a}{\tau_m} = \frac{0{,}223}{0{,}125} = 1{,}78$$

On se trouve donc dans d'excellentes conditions.

M. Cornu, dans sa remarquable étude sur la synchronisation électromagnétique [1], donne l'équation générale d'un mouvement d'un système oscillant synchronisé par une force périodique quelconque. En employant les notations de Kapp, cette équation est :

$$\theta = Ae^{-\alpha t}\sin 2\pi\left(\frac{t}{\tau'_a} + \frac{\pi}{2}\right) + \sum_{n=1}^{n=\infty}\beta_n \sin 2\pi\left(\frac{nt}{2\tau_m} + \psi_n\right)$$

en admettant qu'on a développé la force périodique de la machine à vapeur sous la forme :

$$F = \sum_{n=1}^{n=\infty}\mathfrak{B}\sin 2\pi\left(\frac{nt}{2\tau_m} + \varphi^n\right).$$

Le premier nombre représente l'oscillation *amortie* de période.

$$\tau'_a = 2\pi\sqrt{\frac{1}{\frac{m}{c} - \alpha^2}}.$$

Le second représente une somme d'oscillations pendulaires simples de périodes décroissant en progression arithmétique.

[1] *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, avril 1894.

M. Cornu démontre également qu'il ne peut y avoir synchronisation sans amortissement.

Si on suppose un amortissement faible, c'est-à-dire tel que $\alpha^2\tau^2$ soit négligeable devant l'unité, τ'_a devient exactement l'expression indiquée par Kapp : on voit donc à quoi correspond le calcul que nous avons analysé et dans quels cas on pourra en tirer des conclusions utiles. Enfin, les résultats seront probablement très loin de la vérité pour les alternateurs à fer tournant ou munis de circuits amortisseurs où l'amortissement est proportionnel à $\left(\frac{d\theta}{dt} \cdot \frac{1}{R}\right)$, R étant la résistance toujours très faible des circuits où s'induisent les courants de Foucault.

De même que des oscillations pendulaires se développent dans les alternateurs sous l'action des inégalités du couple moteur, de même, des variations du couple résistant peuvent faire naître des mouvements pendulaires dans les moteurs synchrones alimentés par un réseau.

C'est pour les éviter que M. M. Leblanc munit de circuits amortisseurs les moteurs synchrones des transformateurs redresseurs [1].

Un cas particulier très important à ce point de vue est celui des commutatrices. Il serait intéressant d'étudier le couplage en parallèle de telles machines avec des génératrices mues par des moteurs thermiques, hydrauliques ou électriques. Nous rappellerons seulement les phénomènes pendulaires que nous signalions dans le compte rendu de la deuxième excursion électrotechnique en Suisse de l'École supérieure d'Électricité [1]. Il s'agissait de la distribution par courant continu à trois fils à Genève. Pour assurer cette distribution, on a voulu coupler en parallèle une dynamo Thury entraînée directement par une turbine à l'aide d'un manchon Raffard à bagues de caoutchouc et une commutatrice du type décrit dans ce journal [2]. On a observé alors que des variations oscillatoires de la tension se développaient peu à peu et augmentaient progressivement. C'était là le caractère de phénomènes de résonance électromécanique. L'ingénieur du service électrique porta son attention sur l'accouplement élastique, et remplaça le caoutchouc par du cuir : le mauvais effet a cessé depuis lors.

En terminant, nous ne voulons pas manquer de noter que M. Blondel a traité, au point de vue théorique la question du couplage en parallèle des alternateurs [3] et qu'on trouve recommandés dans sa belle étude, l'emploi des amortisseurs et l'augmentation de l'inertie du volant et aussi la commande directe ; enfin il y a quelques considérations sur les qualités à exiger d'un régulateur.

Au point de vue théorique encore, les communications sur l'accouplement élastique de machines permettent de se documenter sur la question [4].

Jacques GUILLAUME.
Ingénieur des Arts et Manufactures.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 123, 28 janv. 1899.

(1) *Bulletin de la Soc. Int. des Électriciens*, mai 1899.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 50, 14 janv. 1899.

(3) *Bulletin de la Soc. Int. des Électriciens*, 1893 et *Lum. Élect*, t. XLVI.

(4) CH. E. GUILLAUME. *Bulletin de la Soc. Int. des Électriciens*, décembre 1894; BLONDEL, ARNOUX, DESROZIERS. *Idem*, janvier, 1895.

DÉTERMINATION DIRECTE D'UN KILOHM ABSOLU (1)

IV. — DISPOSITIONS GÉNÉRALES DES APPAREILS MESURES AUXILIAIRES

Disposition générale des appareils. — La figure 8 représente la disposition générale des appareils. On voit en SS le système inducteur formé de deux circuits indépendants dont les extrémités aboutissent aux bornes $\beta, \beta', \beta_1, \beta_1'$ d'un commutateur C_1. En M est placé le moteur, en C le commutateur principal et en *c* l'excentrique compte-tours.

Des bornes $a, b', a_1' b_1$ partent des fils qui aboutissent aux bornes $\alpha, \alpha', \alpha_1, \alpha_1'$ de C_1. On intercale dans le circuit inducteur l'un ou l'autre des deux enroulements du système SS selon que l'on abaisse dans un sens ou en sens opposé les cavaliers du commutateur C_1.

Tous ces appareils sont solidement installés sur un épais plateau de chêne long d'environ 7 m, large d'environ 60 cm et scellé au mur.

Le moteur repose sur un socle isolé du plateau par des cales de caoutchouc, de cette façon le plateau ne vibre pas lorsque le moteur est en marche. Les bobines sont placées sur des V taillés simultanément dans une même pièce de bois et collés sur le plateau après avoir amené leurs axes à coïncider. Les fils de ligne qui desservent les bobines sont supportés par des potences appropriées.

La distance de deux bobines consécutives $B_k B_{k+1}$ doit être égale à la longueur l de la bobine b. Pour réaliser cette condition j'ai tracé à la machine à diviser des traits voisins sur l'une des faces d'une règle de laiton L, la distance des deux groupes de traits était voisine de l. La bobine b et la règle étant placées verticalement et près l'une de l'autre, j'ai reporté sur la règle au moyen du cathétomètre la longueur l : deux traits limitent cette longueur.

La règle L est ensuite disposée au-dessus et très près des deux bobine B_k, B_{k+1} qu'il s'agit de fixer. De petits fils de cocon lestés battent en regard des traits q, q'. On amène le plan moyen des bobines à contenir les fils. Ce résultat est atteint lorsque l'image de l'intervalle 100, 101 coïncide avec celle du fil sur le réticule d'un viseur porté par le chariot d'une machine à diviser installée parallèlement à la règle. La position de la bobine initiale B_0 étant choisie arbitrairement, on fixe d'abord la position de la bobine B_1 comme il vient d'être expliqué. On règle de même la position des bobines B_2, B_3..... B en reportant la règle de B_0 B_1 en B_1 B_2 puis en $B_2 B_3$..... $B_5 B_6$.

Des bornes a', a_1 ; b'', b_3 partent deux lignes $\lambda\lambda'$; $\lambda_1\lambda_1'$ qui se rendent au distributeur D. Ce distributeur comprend 20 godets à mercure immobilisés par une couche de paraffine. Un plateau de bois est supporté par quatre colonnes parallèlement à celui sur lequel reposent les godets. Des trous, percés dans le plateau supérieur en regard de chacun des godets, permettent d'y amener les extrémités des circuits intéressés. De cette façon il est commode, au moyen de ponts convenables, d'effectuer les divers groupements nécessités par l'expérience d'équilibre et par les comparaisons de résistances qui doivent suivre.

Les extrémités des circuits galvanométriques $G_1 G_2$ sont en $E_1 E_2$, $S_1 S_2$; celles du circuit inducteur en $I_r I_r$, du circuit induit en II ; de la résistance à mesurer K en KK ; du circuit de compensation, comprenant les boites M', m', en $C_r C_r$; de la dérivation de compensation en $D_c D_c$; de la boite auxiliaire en B,B. Enfin les pôles de la force électromotrice utilisée aboutissent en PP. On fait varier cette force électromotrice de 1 à 110 volts par le déplacement d'une fiche. Cette force électromotrice est fournie par 10 éléments Callaud jusqu'à 10 volts et par une batterie d'accumulateurs jusqu'à 110 volts.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* des 5 et 12 août, p. 161 et 212.

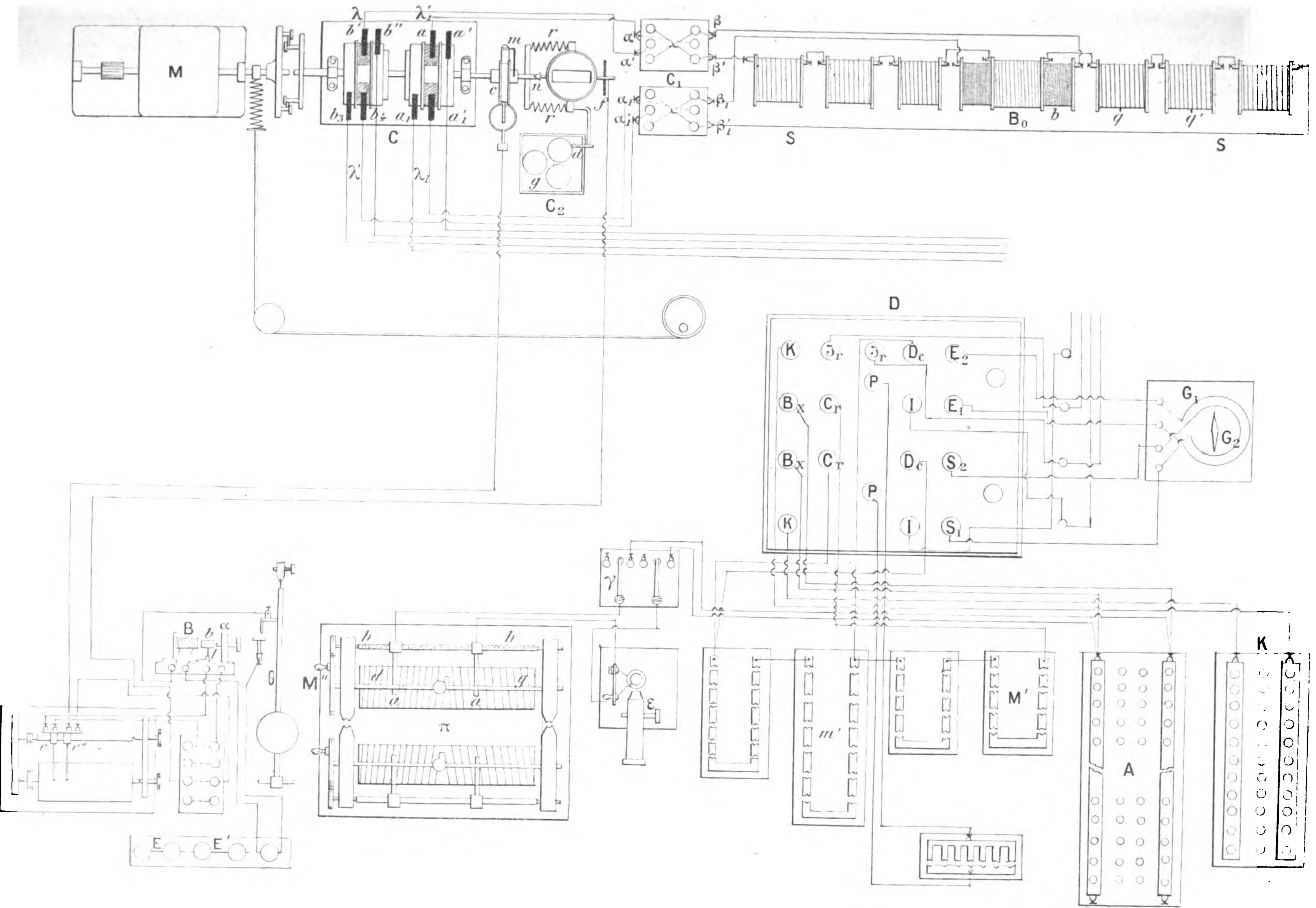


Fig. 8.

Le plus souvent les résistances ont été comparées par la méthode potentiométrique. On voit en π le potentiomètre employé, en ε l'électromètre Lippmann — auquel j'ai parfois substitué un galvanomètre Thomson de grande sensibilité, — en γ une clef à directions multiples permettant d'opposer rapidement et commodément les différences de potentiels xi, yi, à comparer aux différences de potentiels $\lambda i'$, $\lambda' i'$ qui les équilibrent, prises sur le fil du potentiomètre.

On a

$$\frac{x}{y} = \frac{\lambda}{\lambda'}.$$

Les prises de potentiels se font au moyen de fiches mobiles que l'on plonge dans les godets à mercure auxquels aboutissent les extrémités de la résistance à considérer.

J'ai enroulé sur la bobine d'ébonite du potentiomètre (longueur 50 cm, diamètre 8 cm) un fil de maillechort de 0,5 mm de diamètre. En agissant sur la manivelle M'' on éloigne ou on rapproche, selon le sens de la rotation deux contacts en argent *a* que le système mobile *dg* permet d'appuyer sur le fil. On estime sur la tige graduée *hh* le nombre de tours de fil intercalés entre les contacts, la lecture de l'index sur le tambour donne la fraction de tour complémentaire.

Il faut dans toutes les comparaisons, satisfaire à plusieurs conditions.

La différence de potentiel V que présentent les extrémités du fil potentiométrique doit être très légèrement supérieure à la plus grande des différences de potentiel à équilibrer que comprend la série donnée. En utilisant les plus fortes lectures possibles on rend minimum leur erreur relative.

On constate l'équilibre le plus souvent au moyen de l'électromètre capillaire : il faut que la fraction de division appréciable sur le tambour corresponde à une différence de potentiel Δv capable d'agir sur l'électromètre, il serait incommode et inutile d'employer un appareil trop sensible. Si N est le nombre des tours de fil, n celui des divisions du tambour et $\frac{1}{p}$ la fraction de division appréciable, on a

$$\Delta v = \frac{V}{Nnp}.$$

Pour $\Delta v = \frac{1}{10000}$ de volt, $N = 66$, $n = 100$, cas du dispositif employé, deux éléments Daniell suffisent. D'ailleurs une résistance modifiable mise en série avec le fil potentiométrique permet d'ajuster l'appareil si la force électromotrice est un peu trop grande.

Une comparaison de deux résistances *a* et *b* au moyen du potentiomètre *p* exige trois lectures par pointé : *a,p*; *b,p*; retour *a,p* : les deux lectures *a,p* interviennent par leur moyenne, on élimine ainsi les variations lentes et continues de la pile.

Avant d'aborder les mesures intéressant directement le calcul de R, j'ai vérifié les deux boites Carpentier n° 1769 (1 et 2).

J'ai calibré ensuite (au moyen des boites 1, 2) le fil de maillechort que j'avais enroulé sur le potentiomètre.

Mesures auxiliaires. — Les mesures auxiliaires ont pour objet :

1° De comparer à l'une d'elles les résistances de la boite (K);

2° De comparer à l'une d'elles les résistances de la boite auxiliaire (A);

3° De déterminer n_1, N et s.

Les données expérimentales précédentes permettent, en particulier, de calculer **A** et B (page 42) ainsi que L_m.

Boite K. — En prenant comme unité auxiliaire la bobine n° 7 on a pour la résistance totale des bobines sériées :

$$X_s = 9{,}703566\ (7)$$

Les bobines étant associées en parallèles on a

$$X_p = 0{,}096077\ (7)$$

D'ailleurs les diverses bobines ont les résistances suivantes :

(1) = 0,970248 (7)	(6) = 0,960235 (7)
(2) = 0,939213	(7) = 1
(3) = 0,988618	(8) = 0,954919
(4) = 0,954363	(9) = 0,990334
(5) = 0,957836	(10) = 0,988147

Les nombres R_s qui ont fourni la moyenne X_s sont très voisins, la plus grande erreur relative est inférieure à $\frac{1}{20000}$.

Boite auxiliaire. — J'ai trouvé pour la résistance des 32 bobines en série :

$$Y_s = 29,22980\ (2)$$

et en parallèles

$$Y_p = 0,028503\ (2)$$

Les résistances des bobines successives 1, 2 ..., 32 rapportées à celle de la bobine n° 2 ont pour mesures respectives :

0,970113	0,893780
1	0,892975
0,906756	0,915990
0,969002	0,925411
0,937910	0,916839
0,911779	0,899342
0,895814	0,897762
0,937222	0,898642
0,910620	0,900387
0,89906	0,890990
0,893415	0,955753
0,926312	0,940939
0,896449	0,791015
0,905464	0,914266
0,898756	0,892947
0,945721	0,898366

La connaissance de ces rapports permet d'utiliser une fraction connue quelconque de la boite auxiliaire.

Mesure géométrique du diamètre moyen de la bobine — Le diamètre de la bobine a été mesuré directement par vingt pointés pour chaque diamètre, dans quatre sections équidistantes, et dans chaque section pour quatre azimuths deux à deux rectangulaires.

Voici les nombres obtenus :

9,91089 ;	9,87384 ;	9,91740 ;	9,87656	(1)
9,94481 ;	9,87319 ;	9,94887 ;	9,86536	(2)
9,88223 ;	9,89395 ;	9,88266 ;	9,88590	(3)
9,87705 ;	9,90921 ;	9,88408 ;	9,90784.	(4)

On a donc, pour le diamètre moyen extérieur,

$$2r' = 9,895865 \text{ cm}$$

et, pour le diamètre correspondant à l'axe du fil enroulé,

$$2r' = 9,853865$$

Cette lecture exprimée en centimètres internationaux et corrigée de la température, au moyen du coefficient du laiton $(18473 + 5,99\,t)\,10^{-9}$, devient :

$$2r = 9,86303$$

La surface moyenne d'une spire vaut par suite

$$s = 76,4030 \text{ cm}^2$$

J'ai obtenu la même valeur du diamètre à 10^{-5} près, en le définissant par la condition

$$ns = s_1 + s_2 + \dots + s^n.$$

Longueur de la bobine. — Le fil est enroulé suivant une hélice tracée au tour dont le pas a été très soigneusement déterminé et a pour valeur 0,045352 cm.

Pour obtenir le nombre des spires de la bobine, j'ai tracé six traits à peu près équidistants, puis je les ai visés successivement au cathétomètre. Les lectures correspondantes sont :

696,74	(1)	287,36	(4)
575,70	(2)	173,20	(5)
446,29	(3)	35,81	(6)

En divisant les différences 1,2 ; 2,3 ; 3,4 ; 4,5 ; 5,6 par le pas, on obtient le nombre des spires relatives à chacun des tronçons, à savoir :

267, 285, 350, 252, 303.

Comme il y a 5 spires au-dessus du trait 1 et 5 spires au-dessous du trait 6 la bobine porte 1467 spires. La longueur est donc de

$$1467 \times 0,045352 = 66,53079 \text{ cm}.$$

Elle porte

$$n_1 = 22,0499 \text{ spires par cm}.$$

(*A suivre.*)

A. GUILLET

ÉTUDE SUR LA TRANSMISSION ET LA DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE

PAR LES COURANTS ALTERNATIFS [1]

CINQUIÈME PARTIE

TRANSFORMATEURS REDRESSEURS

IV. — Transformateur-redresseur pour courants alternatifs polyphasés débités sous voltage constant.

Soient n conducteurs parcourus par n courants alternatifs de même fréquence et même intensité efficace, mais dont les variations soient successivement décalées de $\frac{1}{n}$ de période, c'est-à-dire tels que l'on puisse représenter leurs intensités à chaque instant par les expressions

$$i_1 = a \sin 2\pi\alpha t, \qquad i_2 = a \sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{1}{n}\right), \qquad \ldots,$$

$$i_n = a \sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{n-1}{n}\right).$$

Ces courants alimentent n circuits identiques montés en étoile, comme il est représenté sur la figure 50, dans le cas où $n = 6$. Ils doivent surmonter, pour cela, n forces électromotrices de même fréquence α, de même grandeur efficace, mais successivement décalées de $\frac{1}{n}$ de période.

Si nous les désignons par $h_1, h_2, h_3, \ldots, h_n$ et si nous appelons h et φ deux constantes, nous pouvons écrire

$$h_1 = h \sin 2\pi(\alpha t + \varphi),$$

$$h_2 = h \sin 2\pi\left(\alpha t + \varphi + \frac{1}{n}\right),$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots,$$

$$h_n = h \sin 2\pi\left(\alpha t + \varphi + \frac{n-1}{n}\right).$$

La quantité totale d'énergie $d\text{E}$, fournie pendant un intervalle de temps dt à ces n circuits, aura pour expression

$$d\text{E} = (i_1 h_1 + i_2 h_2 + \ldots + i_n h_n dt,$$

d'où

$$\frac{d\text{E}}{dt} = \alpha h\Big[\sin 2\pi\alpha t \times \sin 2\pi(\alpha t + \varphi) + \sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{1}{n}\right) \times \sin 2\pi\left(\alpha t + \varphi + \frac{1}{n}\right) + \ldots\Big]$$

ou

$$\frac{d\text{E}}{dt} = \alpha h \cos 2\pi\varphi\Big[\sin^2 2\pi\alpha t + \sin^2 2\pi\left(\alpha t + \frac{1}{n}\right) + \ldots + \sin^2 2\pi\left(\alpha t + \frac{n-1}{n}\right)\Big] + \alpha h \sin 2\pi\varphi$$
$$\Big[\sin 2\pi\alpha t \cos 2\pi\alpha t + \ldots + \sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{n-1}{n}\right) \cos 2\pi\left(\alpha t + \frac{n-1}{n}\right)\Big]$$

ou

$$\frac{d\text{E}}{dt} = \frac{n}{2}\alpha h \cos 2\pi\varphi + \frac{\alpha h}{2}\cos 2\pi\varphi \Big[\cos 4\pi\alpha t + \cos 4\pi\left(\alpha t + \frac{1}{n}\right) + \ldots + \cos 4\pi\left(\alpha t + \frac{n-1}{n}\right)\Big] + \frac{\alpha h}{2}\sin 2\pi\varphi\Big[\sin 4\pi\alpha t + \sin 4\pi\left(\alpha t + \frac{1}{n}\right) + \ldots + \sin 4\pi\left(\alpha t + \frac{n-1}{n}\right)\Big].$$

Les deux derniers termes de cette expression étant identiquement nuls, il reste

$$\frac{d\text{E}}{dt} = \frac{n}{2}\alpha h \cos 2\pi\varphi.$$

Donc l'énergie débitée, à chaque instant, par n courants polyphasés, dans un récepteur comprenant n circuits identiques, est constante. Il est donc possible, sans avoir recours à l'emploi d'aucun réservoir momentané d'énergie, de constituer un transformateur de courants alternatifs polyphasés en courant continu, débité sous voltage constant.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 19 août p. 253.

1er Système

Principe du système. — Nous allons décrire l'appareil que nous avons combiné dans ce but, dans le cas où $n = 3$, c'est-à-dire dans le cas où l'on doit utiliser des courants triphasés.

Soient $X_1 Y_1$, $X_2 Y_2$, $X_3 Y_3$ trois noyaux magnétiques identiques et de même perméabi-

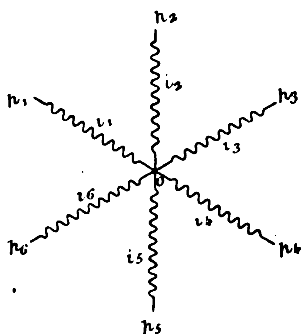


Fig. 50.

lité (fig. 51). Autour de ces trois noyaux seront disposés :

1° Trois bobines identiques de N spires chacune, reliées, d'une part, aux points *a*, *b*, *c* des conducteurs amenant les courants triphasés et, de l'autre à un point de retour commun;

2° Un circuit secondaire divisé en $2k$ sections dont les nombres des spires seront déterminés de la manière suivante :

Traçons, comme il est représenté (fig. 52),

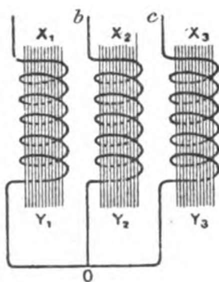


Fig. 51.

trois arcs de sinusoïde de même période L autour de trois droites $X_1 Y_1$, $X_2 Y_2$, $X_3 Y_3$, représentant les trois circuits magnétiques désignés ci-dessus.

Ces trois arcs de sinusoïde sont successivement décalés, de telle manière, que, si l'on désigne par y_1, y_2, y_3 les ordonnées de leurs trois points ayant même abscisse x, on puisse écrire, en désignant par A une constante,

$$y_1 = A \sin 2\pi \frac{x}{L}, \qquad y_2 = A \sin 2\pi \left(\frac{x}{L} + \frac{1}{3}\right),$$

$$y_3 = A \sin 2\pi \left(\frac{x}{L} + \frac{2}{3}\right).$$

Cela fait, traçons les $2k$ ordonnées de cha-

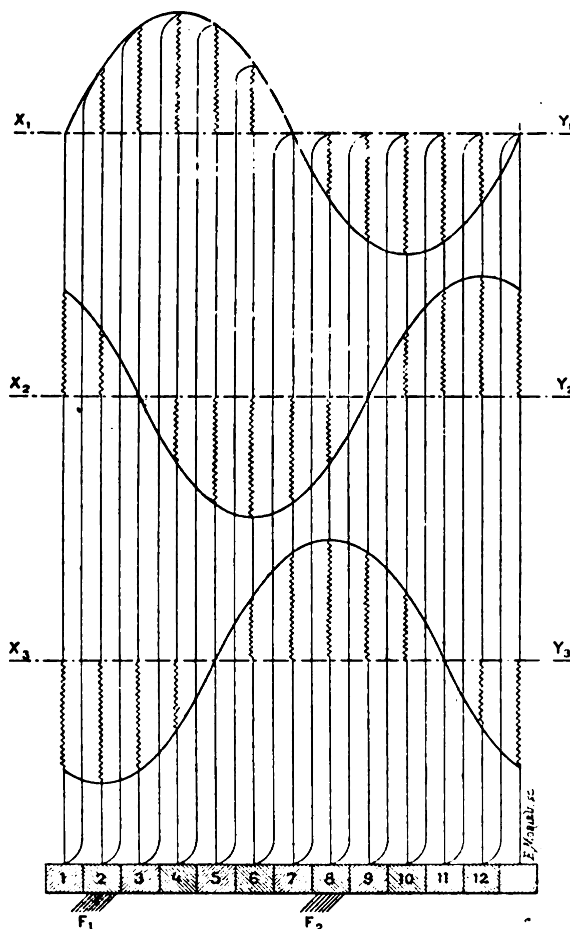


Fig. 52.

que arc de sinusoïde ayant successivement pour abscisses :

$$0, \quad \frac{L}{2k}, \quad \frac{2L}{2k}, \quad \frac{3L}{2k}, \quad \ldots, \quad \frac{(2k-1)L}{2k}.$$

Autour de chaque noyau, nous disposerons $2k$ bobines distinctes ayant des nombres de spires proportionnels à ces $2k$ ordonnées.

Par convention, les spires correspondant à des ordonnées positives seront enroulées dans le sens dextrorsum, et celles correspondant à des ordonnées négatives le seront dans le sens sinistrorsum.

Chaque section du circuit secondaire sera formée par la réunion en série des trois bobines situées autour des noyaux magnétiques $X_1 Y_1$, $X_2 Y_2$, $X_3 Y_3$ correspondant à une même abscisse. La composition de ces $2k$ sections est donnée par le tableau suivant, où la constante ν représente un nombre de spires et où le sens d'enroulement des divers groupes de spires est donné par le signe de la fonction sinusoïdale qui le représente :

Numéro de la section.	Nombre de spires de cette section autour du noyau X_1Y_1.	X_2Y_2.	X_3Y_3.
1.	$\nu \sin 0$	$\nu \sin 2\pi\left(0 + \frac{1}{3}\right)$	$\nu \sin 2\pi\left(0 + \frac{2}{3}\right)$
2.	$\nu \sin \frac{2\pi}{2k}$	$\nu \sin 2\pi\left(\frac{1}{2k} + \frac{1}{3}\right)$	$\nu \sin 2\pi\left(\frac{1}{2k} + \frac{2}{3}\right)$
3.	$\nu \sin 2\frac{2\pi}{2k}$	$\nu \sin 2\pi\left(\frac{2}{2k} + \frac{1}{3}\right)$	$\nu \sin 2\pi\left(\frac{2}{2k} + \frac{2}{3}\right)$
. . . . .	. . . . .	. . . .	. . . .
p.	$\nu \sin (p-1)\frac{2\pi}{2k}$	$\nu \sin 2\pi\left(\frac{p-1}{2k} + \frac{1}{3}\right)$	$\nu \sin 2\pi\left(\frac{p-1}{2k} + \frac{2}{3}\right)$
. . . . .	. . . .	. . . .	. . . .
2K. . . .	$\nu \sin (2K-1)\frac{2\pi}{2k}$	$\nu \sin 2\pi\left(\frac{2k-1}{2k} + \frac{1}{3}\right)$	$\nu \sin 2\pi\left(\frac{2k-1}{2k} + \frac{2}{3}\right)$

Ces $2k$ sections distinctes seront reliées entre elles et avec les $2k$ touches consécutives d'un collecteur (fig. 52) où le collecteur a été supposé développé comme s'il s'agissait d'un anneau de Gramme, divisé en $2k$ sections.

Supposons maintenant que l'on fasse appuyer sur ce collecteur deux balais F_1, F_2 le premier sur la touche de rang β et le second sur la touche de rang $(\beta + k)$. Tout circuit extérieur reliant ces deux balais se fermera à travers les circuits secondaires du transformateur.

Le courant pourra se rendre du balai F_1 au balai F_2 en suivant deux chemins entre lesquels il se bifurquera :

1° En parcourant les k sections branchées entre les touches du collecteur

$$\beta \text{ et } (\beta+1), \quad (\beta+1) \text{ et } (\beta+2), \quad \ldots, \quad [\beta + (k-1)] \text{ et } (\beta - k) ;$$

2° En parcourant les k sections branchées entre les touches du collecteur

$$\beta \text{ et } (\beta-1), \quad (\beta-1) \text{ et } (\beta-2), \quad \ldots,$$
$$1 \text{ et } 2k, \quad 2k \text{ et } (2k-1), \quad \ldots, \quad (\beta - k + 1) \text{ et } \beta + k).$$

En parcourant le premier chemin, il effectuera autour du noyau $X_1 Y_1$ (fig. 52) un nombre de tours égal à

$$N_1 = \nu \left[\sin \beta \frac{\pi}{k} + \sin(\beta+1)\frac{\pi}{k} + \ldots + \sin(\beta + k - 1)\frac{\pi}{k} \right],$$

ou

$$N_1 = \frac{\nu}{\sin \frac{\pi}{2k}} \cos\left(\beta - \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{k}.$$

En parcourant le second chemin, il effectuera autour du noyau $X_1 Y_1$ un nombre de tours égal à

$$N'_1 = \nu \left[\sin(\beta-1)\frac{\pi}{k} + \sin(\beta-2)\frac{\pi}{k} + \ldots + \sin(\beta - k)\frac{\pi}{k} \right].$$

$$N'_1 = -\frac{\nu}{\sin \frac{2\pi}{k}} \cos\left(\beta - \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{k}.$$

Mais les deux branches du courant parcourent ces deux circuits en sens inverses, alors que ces circuits comportent des nombres égaux de spires, enroulées en sens contraires.

Les choses se passeront donc comme si le courant total, traversant le circuit extérieur branché entre les deux balais F_1 et F_2, effectuait autour du noyau $X_1\ Y_1$ un nombre de tours égal à

$$S_1 = \frac{\nu}{\sin\frac{\pi}{2k}} \cos\left(\beta - \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{k}.$$

On trouverait de la même manière que les nombres de tours effectués par ce courant autour des noyaux $X_2\ Y_2$, $X_3\ Y_3$ (fig. 52) sont égaux à

$$S_2 = \frac{\nu}{\sin\frac{\pi}{2k}} \cos\left(\beta - \frac{1}{2} + \frac{2k}{3}\right)\frac{\pi}{k}.$$

$$S_3 = \frac{\nu}{\sin\frac{\pi}{2k}} \cos\left(\beta - \frac{1}{2} + \frac{4k}{3}\right)\frac{\pi}{k}.$$

Si maintenant, on vient à faire tourner régulièrement autour du collecteur les balais F_1 et F_2 avec la vitesse de α tours par seconde, au bout de temps égaux à $\frac{1}{2k\alpha}$ la valeur de la quantité β variera brusquement de quantités égales à $\frac{1}{2k}$ et les quantités S_1, S_2, S_3 pourront être considérées comme des fonctions du temps dont les variations seront représentées

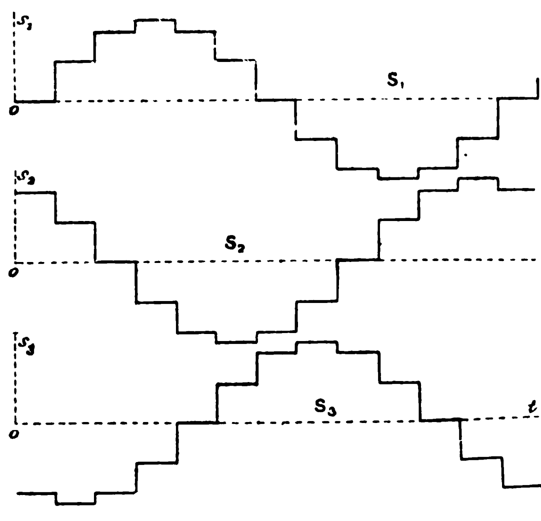


Fig. 53.

par les lignes brisées de la figure 53 dans le cas où l'on a $k = 6$.

On peut se proposer, comme nous l'avons fait précédemment, de représenter semblables fonctions du temps par des développements effectués suivant la série de Fourier.

On arrive ainsi, en supposant toujours k égal à 6, aux expressions

$$S_1 = 0{,}998 \frac{V}{\sin\frac{\pi}{12}}\left[\sin 2\pi\alpha t + \frac{1}{11}\sin 22\pi\alpha t - \frac{1}{13}\sin 26\pi\alpha t - \frac{1}{23}\sin 46\pi\alpha t + \dots\right],$$

$$S_2 = 0{,}998 \frac{V}{\sin\frac{\pi}{12}}\left[\sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{1}{3}\right) + \frac{1}{11}\sin 22\pi\left(\alpha t + \frac{1}{3}\right) - \frac{1}{13}\sin 26\pi\left(\alpha t + \frac{1}{3}\right) - \frac{1}{23}\sin 46\pi\left(\alpha t + \frac{1}{3}\right) + \dots\right],$$

$$S_3 = 0{,}998 \frac{V}{\sin\frac{\pi}{12}}\left[\sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{2}{3}\right) + \frac{1}{11}\sin 22\pi\left(\alpha t + \frac{2}{3}\right) - \frac{1}{13}\sin 26\pi\left(\alpha t + \frac{2}{3}\right) - \frac{1}{23}\sin 46\pi\left(\alpha t + \frac{2}{3}\right) + \dots\right].$$

Supposons maintenant que les trois noyaux $X_1\ Y_1$, $X_2\ Y_2$, $X_3\ Y_3$, soient le siège de variations de flux de fréquence α et telles qu'en désignant par Φ_1, Φ_2, Φ_3 ces flux, par φ une constante représentant un flux et par ψ une autre constante représentant une différence de phases l'on puisse écrire

$$\Phi_1 = \varphi \cos 2\pi(\alpha t - \psi),$$

$$\Phi_2 = \varphi \cos 2\pi\left(\alpha t - \psi + \frac{2}{3}\right).$$

$$\Phi_3 = \varphi \cos 2\pi\left(\alpha t - \psi + \frac{2}{3}\right).$$

La force électromotrice E développée entre les balais F_1 et F_2 (fig. 52) aura pour expression

$$E = S_1\frac{d\Phi_1}{dt} + S_2\frac{d\Phi_2}{dt} + S_3\frac{d\Phi_3}{dt}.$$

Si nous supposons encore $k = 6$ et si nous remplaçons les quantités S_1, S_2, S_3 par les

premiers termes des expressions trouvées ci-dessus, il vient :

$$E = -0{,}998 \frac{\nu}{\sin \frac{\pi}{12}} 2\pi\alpha\varphi \Big[\sin 2\pi\alpha t + \sin 2\pi(\alpha t - \psi) + \sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{1}{3}\right) \sin 2\pi\left(\alpha t - \psi + \frac{1}{3}\right), + \sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{2}{3}\right) \sin 2\pi\left(\alpha t - \psi + \frac{2}{3}\right) \Big].$$

$$E = -3{,}862\,\pi\varphi\alpha\nu \times \frac{3}{2} \cos 2\psi\pi.$$

Il y aura donc une force électromotrice d'intensité constante développée dans tout circuit extérieur branché entre les balais F_1 et F_2. L'influence des termes négligés des développements de Fourier précédents ne pourra superposer à cette force électromotrice constante que des forces électromotrices périodiquement variables dont la fréquence sera très rapide et dont la grandeur sera au plus égale au $\frac{1}{11}$ de la première, si l'on cale les balais mobiles par rapport au collecteur de manière à avoir $\cos 2\pi\psi = 1$.

L'effet de ces forces électromotrices sera naturellement détruit par la self-induction du circuit que devra parcourir le courant continu.

Le nombre d'ampères-tours développés autour de chaque noyau magnétique par le circuit secondaire variera suivant une loi très sensiblement sinusoïdale et qui s'en rapprochera d'autant plus que le sectionnement de ce circuit sera poussé plus loin. Le transformateur triphasé formé par la réunion des trois noyaux se comportera donc comme un transformateur ordinaire.

Observation. — Le nombre de spires que comporte toute section autour d'un noyau magnétique est nécessairement un nombre entier et, lorsqu'il s'agira de faire varier suivant une loi sinusoïdale les nombres de spires des diverses sections du circuit secondaire de nos transformateurs, il faudra donner au plus grand de ces nombres une valeur suffisamment élevée pour que, parmi les nombres entiers plus petits, l'on puisse en trouver dont les rapports successifs varient suivant la loi voulue. Le plus grand de ces nombres devra être d'autant plus élevé que l'on voudra pousser plus loin le sectionnement.

On devrait donner un très grand nombre de spires au circuit secondaire en réduisant le voltage efficace développé par spire. Cela conduirait à augmenter le rapport du poids de cuivre au poids de fer dans nos transformateurs et cela aux dépens de leur prix de revient.

On viendra à bout de cette difficulté de la manière suivante :

A chaque noyau magnétique du transformateur, adjoignons un noyau de section dix fois plus petite, recouvert d'un circuit primaire ayant dix fois plus de spires que celui du premier noyau et monté en parallèle avec lui.

Toute spire entourant ce noyau sera le siège d'une force électromotrice dix fois plus petite que celle développée dans les spires entourant le premier noyau.

Supposons par exemple qu'il faille développer dans un circuit une force électromotrice égale à quarante-six fois la force électromotrice développée dans une spire par le petit noyau, nous constituerons un circuit ayant quatre spires autour du premier et six seulement autour du second, alors qu'on aurait eu à en enrouler quarante-six, si l'on n'avait disposé que de ce seul noyau.

On pourrait aller plus loin et adjoindre trois noyaux qui développeraient dans chaque spire les entourant des forces électromotrices qui seraient entre elles comme les nombres 1, 10, 100. Mais cela ne sera jamais nécessaire.

(*A suivre.*)

Maurice Leblanc.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Télégraphe rapide Pollak et Virag.

Le système de télégraphie rapide de MM. Pollak et Virag est, comme celui de Wheatstone, un système à composition préalable, c'est-à-dire que la dépêche doit tout d'abord être transcrite par des perforations sur une bande de papier; ces perforations sont situées sur deux lignes parallèles, celles d'une ligne correspondant aux traits, celles de l'autre aux points de l'alphabet Morse.

Le transmetteur B, représenté à gauche des figures 1 et 2, se compose d'un cylindre tournant métallique contre lequel s'appuient deux balais; entre le cylindre et les balais glisse très rapidement la bande perforée. Chaque balai est relié à l'un des pôles d'une batterie dont le milieu est relié au fil d'aller de la ligne. L'axe du cylindre tournant est connecté au fil de retour de cette ligne. Quand une perforation se trouve sous un balai, celui-ci vient en contact avec le cylindre et un courant, positif ou négatif suivant que la perforation correspond à un point ou à un trait, est envoyé dans le fil d'aller.

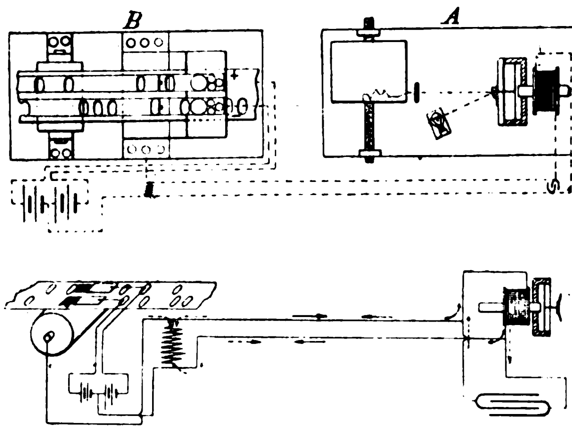


Fig. 1 et 2. — Vue en plan et diagramme des connexions des appareils Pollak-Virag.

Le récepteur A est un appareil téléphonique. Au centre de la membrane de fer doux de cet appareil est fixée une tige légère contre laquelle s'appuie une lame formant ressort et portant un petit miroir concave mobile autour d'un axe. Ce miroir réfléchit la lumière venant d'une lampe à incandescence sur un papier photographique enroulé sur un cylindre animé d'un mouvement de rotation autour de son axe en même temps que d'un mouvement de translation suivant cet axe. Sous l'action des courants qui traversent la bobine téléphonique la membrane se déplace, dans un sens ou dans l'autre suivant le sens du courant envoyé par le transmetteur, et ce déplacement est transmis, très amplifié, au miroir au moyen de la petite tige qui relie celui-ci à la membrane. Le miroir est ramené dans sa position normale par le ressort; pour atténuer ses oscillations ce miroir est fixé sur une petite plaque de fer doux et disposé entre les pôles d'un aimant permanent tendant constamment à ramener la plaque de fer doux et par suite le miroir dans la position d'équilibre. Les signaux obtenus sur le papier photographique ont la forme indiquée par les lignes sinueuses de la figure 3; sur cette figure on a indiqué au-dessus des sinuosités les signaux Morse correspondants.

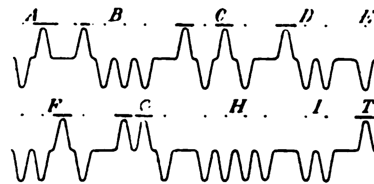


Fig. 3. — Signaux Morse et signaux Pollak-Virag.

Deux difficultés étaient à vaincre pour obtenir par ce système une transmission très rapide : il fallait, d'une part, empêcher les vibrations propres de la membrane téléphonique de superposer leurs effets à ceux des déplacements de cette membrane causés par les courants; d'autre part éliminer les effets perturbateurs provenant de la self-induction et de la capacité de la ligne.

****

La première difficulté a été surmontée en réglant l'intensité et la durée du courant agissant sur la membrane téléphonique au moyen d'un condensateur de capacité convenable placé en dérivation sur la bobine. Au début le courant se divise en deux parties; l'une charge le condensateur; l'autre traverse la bobine et déplace la membrane. Dès que le courant, dont la durée est beaucoup plus faible que la période des oscillations propres de la membrane, cesse, la membrane revient sur elle-même ; mais alors le condensateur se décharge à travers la bobine et amortit le mouvement de retour de la membrane. En donnant au courant d'émission une durée convenable et réglant la capacité du condensateur, on parvient à faire en sorte que la membrane revienne dans sa position d'équilibre sans vitesse acquise et par conséquent se maintienne dans cette position.

Pour éliminer les effets de capacité et de self-induction de la ligne, une bobine de réactance est placée, au poste de départ, en dérivation entre les fils d'aller et de retour. Au moment de la rupture du courant d'émission, l'extra-courant développé dans la bobine décharge la ligne.

Ce système a été l'objet de nombreux essais faits au laboratoire de la Vereinigte Electricitaets A. G., à Budapest, à l'instigation de la Chambre royale de commerce hongroise. Le transmetteur et le récepteur placés dans le laboratoire étaient, pendant la nuit, reliés aux lignes téléphoniques et télégraphiques du gouvernement. Voici le résultat de deux de ces essais d'après une communication de M. Josef Pinter, directeur du laboratoire, à la réunion du 13 mai dernier de la Ingenieur und Architecten Verein de Budapest.

Dans l'un des essais la ligne était constituée par quatre fils de bronze allant à Temeswar. Dans cette station les fils étaient connectés deux à deux de manière à constituer une ligne à double fil de 650 km de longueur partant de Budapest, passant par Temeswar et revenant à Budapest. La résistance de cette ligne était de 4 000 ohms. Avec des courants fournis par une force électromotrice de 25 volts la vitesse de transmission a été de 100 000 mots par heure et la limite ne semblait pas atteinte; avec une force électromotrice de 20 volts on a pu transmettre 70 000 mots par heure. Les signaux étaient extrêmement nets.

Une seconde série d'essais furent faits sur une ligne à deux fils de fer de 340 km de longueur et de 6 000 ohms de résistance. Malgré l'énorme inductance de la ligne la vitesse de transmission a pu atteindre 54 000 mots par heure en employant une force électromotrice de 60 volts. On constata que pour couvrir de signaux une feuille de papier photographique de 65 cm de long et 9 cm de large, pouvant contenir de 5 000 à 6 000 signaux, il suffisait de 22 secondes. Le développement et le fixage de la feuille demandaient environ 2 minutes et demie.

Pour faire ressortir l'importance de ces résultats, M. Pinter faisait remarquer que pour transmettre 40 000 mots, soit le contenu de 16 pages d'un journal grand format, il suffirait de 25 minutes avec le système Pollak-Virag, tandis qu'il faudrait au moins 30 heures avec des appareils Hughes et 5 jours et 5 nuits avec des appareils Morse. J. R.

Sur la théorie de l' « egualizzatore » ou diviseur de tension;

Par S. A. Montel [1].

Sous le nom d' « egualizzatore » ou diviseur de tension, l'auteur désigne un appareil constitué par un enroulement avec noyau de fer doux dont les extrémités sont connectées, en dérivation, à deux conducteurs d'un réseau à courant alternatif et en différents points duquel sont connectés des circuits d'appareils d'utilisation; ces circuits sont en série les uns par rapport aux autres et en dérivation par rapport aux diverses portions de l'enroulement.

[1] Note communiquée par l'auteur, ingénieur à Turin, en juin dernier.

Dans sa note, l'auteur étudie les propriétés de cet appareil dans le cas particulier où il n'y a que deux groupes d'appareils d'utilisation sans self-induction propre (lampes à incandescence), chacun d'eux étant relié d'une part à une extrémité de l'appareil, d'autre part au milieu de l'enroulement; l'auteur suppose en outre qu'en fonctionnement normal chaque groupe exige sensiblement la même puissance.

La figure 1 représente schématiquement

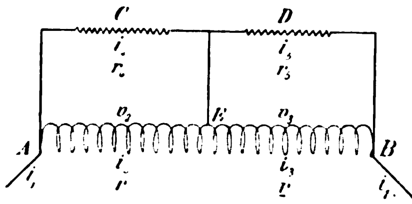


Fig. 1.

le dispositif. La résistance et le coefficient de self-induction des deux moitiés AE et EB de l'enroulement sont désignées respectivement par r et par L; le coefficient d'induction mutuelle par M; r_4 et r_5 sont les résistances ohmiques des deux circuits d'utilisation ACE, EDB; i_1, i_2, i_3, i_4, i_5 sont les intensités, à un instant donné, des courants dans les divers circuits; v_2 et v_3 désignent les valeurs instantanées de la différence de potentiel entre A et E et entre E et B.

Considérons les deux enroulements AE et EB, ils nous fournissent les relations

$$v_2 = ri_2 + L\frac{di_2}{dt} + M\frac{di_3}{dt},$$

$$v_3 = ri_3 + L\frac{di_3}{dt} + M\frac{di_2}{dt}.$$

Comme on a très sensiblement M = L, on peut écrire

$$v_2 = ri_2 + L\left(\frac{di_2}{dt} + \frac{di_3}{dt}\right), \qquad (1)$$

$$v_3 = ri_3 + L\left(\frac{di_2}{dt} + \frac{di_3}{dt}\right). \qquad (2)$$

D'autre part les circuits ACE, EDB nous donnent

$$v_2 = i_4 r_4, \qquad v_3 = i_5 r_5, \qquad (3) \text{ et } (4)$$

$$v_1 = v_2 + v_3 \quad i_1 = i_2 + i_4 = i_3 + i_5. \quad (5) \text{ et } (6)$$

Ces relations peuvent se mettre sous une autre forme. En soustrayant l'une de l'autre les relations (1) et (2), il vient

$$v_2 - v_3 = r(i_2 - i_3), \qquad (7)$$

ou

$$i_3 - i_2 = -\frac{v_2 - v_3}{r}, \qquad (8)$$

La relation (6) donne alors

$$i_5 - i_4 = \frac{v_2 - v_3}{r}, \qquad (9)$$

ou, en tenant compte des relations (3) et (4),

$$\frac{v_3}{r_5} - \frac{v_2}{r_4} = \frac{v_2 - v_3}{r},$$

d'où l'on déduit

$$\frac{v_3}{v_2} = \frac{r_4 r_5 + r_5 r}{r_4 r_5 + r_4 r} = \alpha. \qquad (10)$$

Cette dernière relation montre que le rapport $\frac{v_3}{v_2}$ des tensions aux extrémités des deux enroulements de l'appareil dépend seulement des résistances ohmiques des diverses parties des circuits. Par conséquent ces tensions ont même phase.

Quant à la valeur du rapport, on voit qu'il est égal à l'unité dans le cas particulier où les résistances r_4 et r_5 des appareils branchés en dérivation sur les deux enroulements sont égaux. Dans le cas où l'une de ces résistances est infinie, c'est-à-dire quand le circuit correspondant est coupé, on a

$$\frac{v_3}{v_2} = \frac{r_5}{r_5 + r} \quad \text{ou} \quad \frac{v_3}{v_2} = \frac{r_4}{r_4 + r} \qquad (11)$$

suivant que c'est r_4 ou r_5 qui est infini. Par conséquent si l'on veut que le rapport des tensions diffère peu de l'unité, quelles que soient les valeurs relatives des résistances r_4 et r_5, il convient de prendre r très petit par rapport à ces résistances.

Cherchons maintenant les autres grandeurs. Si l'on tient compte de la relation (10), on peut mettre la relation (8) sous la forme

$$i_3 = i_2 - \frac{1 - \alpha}{r} v_2.$$

d'où l'on déduit,

$$\frac{di_3}{dt} = \frac{di_2}{dt} - \frac{1-\alpha}{r}\,\frac{dv_2}{dt}, \qquad (12)$$

et les relations (1) et (2) peuvent alors s'écrire

$$v_2 + \mathrm{L}\,\frac{1-\alpha}{r}\,\frac{dv_2}{dt} = ri_2 + 2\mathrm{L}\,\frac{di_2}{dt}, \qquad (13)$$

$$v_3 - \mathrm{L}\,\frac{1-\alpha}{r}\,\frac{dv_2}{dt} = ri_3 + 2\mathrm{L}\,\frac{di_3}{dt}. \qquad (14)$$

Les courants alternatifs alimentant l'appareil étant supposés sinusoïdaux, posons

$$v_2 = \mathrm{V}_2 \sin \omega t \qquad v_3 = \mathrm{V}_3 \sin \omega t,$$
$$i_2 = \mathrm{I}_2 \sin(\omega t + \delta) \qquad i_3 = \mathrm{I}_3 \sin(\omega t + \gamma)$$

δ étant la différence de phase entre i_2 et v_2 ou v_2 et γ la différence de phase entre i_3 et v_3 ou v_2. On en déduit

$$\frac{dv_2}{dt} = \omega \mathrm{V}_2 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right),$$
$$\frac{dv_3}{dt} = \omega \mathrm{V}_3 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right),$$
$$\frac{di_2}{dt} = \omega \mathrm{I}_2 \sin\left(\omega t + \delta + \frac{\pi}{2}\right),$$
$$\frac{di_3}{dt} = \omega \mathrm{I}_3 \sin\left(\omega t + \gamma + \frac{\pi}{2}\right).$$

Traçons une droite OP (fig. 2) égale à V_2 et

Fig. 2.

au point P élevons la perpendiculaire PB de longueur $\mathrm{L}\,\frac{(1-\alpha)}{r}\,\omega\,\mathrm{V}_2$. Si l'on prend comme sens positif de rotation des fonctions sinusoïdales celui qu'indique la flèche u, on voit que OB représente le premier membre de l'équation (13). Par conséquent si l'on construit un triangle rectangle OAB ayant pour hypothénuse OB et dont les deux autres côtés soient dans le rapport $\frac{\mathrm{OA}}{\mathrm{AB}} = \frac{r}{2\mathrm{L}\omega}$, on aura $\mathrm{OA} = r\mathrm{I}_2$ et le quotient $\frac{\mathrm{OA}}{r}$ donnera I_2 en grandeur et position.

De même en prenant une longueur OQ égale à V_3 (sur OP puisque v_3 et v_2 ont même phase), élevant en Q une perpendiculaire QD égale à $\mathrm{L}\,\frac{(1-\alpha)}{r}\,\omega \mathrm{V}_2$, et enfin construisant sur OD un triangle rectangle ayant des côtés dans le rapport $\frac{\mathrm{OE}}{\mathrm{OD}} = \frac{r}{2\mathrm{L}\omega}$, le quotient $\frac{\mathrm{OE}}{r}$ donnera I_3 en grandeur et en position.

D'ailleurs on peut obtenir I_3 autrement. En effet la longueur de AB étant $2\mathrm{L}\omega\mathrm{I}_2$ et celle de sa moitié BF étant $\mathrm{L}\omega\mathrm{I}_2$, l'équation (12) montre que $\mathrm{FP} = \omega\mathrm{L}\,\mathrm{I}_3$; par suite si l'on mène en O une droite faisant avec FP un angle $-\frac{\pi}{2}$ et ayant pour longueur $\frac{\mathrm{FP}}{\omega \mathrm{L}}$ on aura I_3 en grandeur et en position.

Remarquons en outre que AP est la résultante de $\omega\mathrm{L}\,\mathrm{I}_2$ et de $\omega\mathrm{L}\,\mathrm{I}_3$. Or la force contre-électromotrice de l'appareil est

$$e = -\mathrm{L}\left(\frac{di_2}{dt} + \frac{di_3}{dt}\right).$$

Par conséquent la valeur maximum E de la force contre-électromotrice aura pour valeur la résultante de $-\omega\mathrm{L}\,\mathrm{I}_2$ et de $-\omega\mathrm{L}\,\mathrm{I}_3$ et sera représentée par le vecteur OC, mené parallèlement à AP dans le sens opposé et dont la longueur est égale à celle de AP.

Quant au flux magnétique φ de l'appareil il est relié à la force contre-électromotrice par la relation

$$e = -\frac{d\varphi}{dt}.$$

Par conséquent en menant $\mathrm{OZ} = \frac{\mathrm{OC}}{\omega}$ perpendiculairement à OC et dans le sens du mouvement, nous aurons la valeur maximum Φ du flux en grandeur et en direction.

La figure nous permet de trouver les formules donnant les valeurs de I_2, I_3, δ et γ. On a :

$$\overline{\mathrm{OA}}^2 + \overline{\mathrm{AB}}^2 = \overline{\mathrm{OP}}^2 + \overline{\mathrm{PB}}^2,$$

c'est-à-dire

$$r^2\mathrm{I}_2^2 + 4\mathrm{L}^2\omega^2\mathrm{I}_2^2 = \mathrm{V}_2^2 + \mathrm{L}^2\,\frac{(1-\alpha)^2}{r^2}\,\omega^2\mathrm{V}_2^2;$$

d'où

$$I_2^2 = V_2^2 \frac{1 + L^2 \frac{(1-\alpha)^2}{r^2} \omega^2}{r^2 + 4L^2\omega^2}. \quad (15)$$

De même,

$$\overline{DE}^2 + \overline{ED}^2 = \overline{OQ}^2 + \overline{QD}^2$$

c'est-à-dire

$$r^2 I_3^2 + 4L^2\omega^2 I_3^2 = \alpha^2 V_3^2 + L^2 \frac{(1-\alpha^2)}{r^2} \omega^2 V_2^2,$$

d'où

$$I_3^2 = V_2^2 \frac{\alpha^2 + L^2 \frac{(1-\alpha)^2}{r^2} \omega^2}{r^2 + 4L^2\omega^2}. \quad (16)$$

Des équations (15) et (16) on déduit

$$\frac{I_3^2}{I_2^2} = \frac{\alpha^2 + L^2 \frac{(1-\alpha)^2}{r^2} \omega^2}{1 + L^2 \frac{(1-\alpha)^2}{r^2} \omega^2}. \quad (17)$$

Dans le cas $r_4 = r_5$, c'est-à-dire $\alpha = 1$, on a

$$I_2^2 = I_3^2 = \frac{V_2^2}{r^2 + 4L^2\omega^2}. \quad (18)$$

Faisons maintenant le calcul des angles δ et γ. De la figure on déduit

$$\text{tg}\,\delta = \text{tg}\,(\text{AOB} - \text{POB}) = \frac{\text{tg AOB} - \text{tg POB}}{1 + \text{tg AOB tg POB}}$$

$$\text{tg}\,\delta = \frac{L\omega r(1+\alpha)}{r^2 + 2L^2\omega^2(1-\alpha)}. \quad (19)$$

$$\text{tg}\,\gamma = \text{tg}\,(\text{QOD} + \text{DOE}) = \frac{\text{tg QOD} + \text{tg DOE}}{1 - \text{tg QOD tg DOE}}$$

$$\text{tg}\,\gamma = \frac{L\omega r(1+\alpha)}{r^2\alpha - 2L^2\omega^2(1-\alpha)}. \quad (20)$$

Dans le cas $\alpha = 1$ on a

$$\text{tg}\,\delta = \text{tg}\,\gamma = \frac{2L\omega}{r}. \quad (21)$$

Ces dernières égalités montrent que dans le cas particulier où $\alpha = 1$, c'est-à-dire celui où les deux branches de l'appareil sont également chargées, le décalage des courants par rapport aux différences de potentiel sera d'autant plus voisin de 90° que la self-induction L des enroulements sera plus grande par rapport à leur résistance r. Si donc on prend L très grand par rapport à r les pertes par effet Joule dans les enroulements seront négligeables.

Lorsque cette dernière condition sera remplie les formules (15) et (16) qui donnent les intensités se simplifient puisqu'on peut y négliger r^2 par rapport à $L^2\omega^2$; on peut alors les écrire

$$I_2 = I_3 = \frac{V_2}{r} \frac{1-\alpha}{2} \quad (22)$$

D'ailleurs v_2 et v_3 ont même phase, on a

$$v_1 = v_2 + v_3,$$

et par suite

$$V_1 = V_2 + V_3 = V_2(1+\alpha),$$

de sorte qu'il vient

$$I_2 = I_3 = \frac{V_1}{2r} \frac{1-\alpha}{1+\alpha}. \quad (23)$$

Dans les mêmes conditions les formules (19) et (20) se simplifient et se réduisent à

$$\text{tg}\,\delta = \frac{r(1+\alpha)}{2\omega L(1-\alpha)} \qquad \text{tang}\,\gamma = -\frac{r(1+\alpha)}{2\omega L(1-\alpha)} \quad (24) \text{ et } (25)$$

On voit par les équations (22) que même dans le cas où α diffère considérablement de l'unité (cas où les nombres de lampes allumées en C et en D sont très différents) les courants qui traversent les deux enroulements de l'appareil ont des intensités sensiblement égales pourvu que la self-induction L soit très grande par rapport à r. Les formules (24) et (25) montrent en outre que l'un de ces courants est presque en phase avec la différence de potentiel et l'autre décalé de presque 180° par rapport à celle-ci.

Si l'un des circuits d'alimentation est coupé, le circuit C par exemple, α prend la valeur donnée par la première des égalités (11),

$$\alpha = \frac{r_5}{r_3 + r} = \beta, \quad (11')$$

et la relation (23), toujours applicable dans l'hypothèse où L est très grand par rapport

à r, devient

$$I_2 = I_3 = \frac{V_1}{2r} \frac{1-\beta}{1+\beta}. \qquad (23')$$

Quant à la valeur maximum du courant traversant les lampes allumées en D elle est

$$I_5 = \frac{V_3}{r_5} = \frac{V_3}{r} \frac{1-\beta}{\beta}$$

r_5 étant remplacé par sa valeur déduite de (11'). Comme $V_1 = V_2 + V_3$ et que $V_3 = \beta V_2$, on a en outre

$$V_3 = \frac{V_1 \beta}{1+\beta}$$

et par suite

$$I_5 = \frac{V_1}{r} \frac{1-\beta}{1+\beta} \qquad (26)$$

En comparant (23') et (26) on voit que l'intensité du courant qui traverse les enroulements de l'appareil n'est alors que la moitié de celle du courant traversant le circuit d'alimentation D. Par conséquent le courant traversant l'appareil, minimum quand les deux circuits C et D sont également chargés, croît à mesure que la différence des charges s'accentue et prend, dans le cas limite où l'une des charges est nulle, une intensité égale à la moitié du courant utilisé par le circuit chargé.

Appareil du Laboratoire central d'électricité pour l'étude de la répartition lumineuse des lampes à arc;

Par E. Laporte [1].

La détermination du flux lumineux émis par une lampe à arc à feu nu s'effectue immédiatement, par une seule lecture, au moyen du lumenmètre à miroir de M. Blondel [2]. Quand l'arc est enfermé dans un globe, qu'il est muni de réflecteurs, cette détermination exige de nombreuses mesures d'intensité faites suivant diverses directions, généralement situées dans un même plan vertical ; en admettant que la répartition de la lumière soit la même dans tous les plans verticaux passant par l'arc on déduit le flux en multipliant chaque intensité moyenne par l'aire de la zone sphérique qui l'émet et en faisant la somme de ces flux partiels.

Plusieurs dispositifs ont été imaginés tant dans le but de diminuer la durée des mesures que dans celui de maintenir leur précision dans des limites acceptables en pratique malgré les variations continuelles du flux émis par l'arc. En Allemagne on emploie souvent le photomètre de Weber qui permet des visées dans toutes les directions, mais qui exige, à chaque mesure, la modification de la position relative de la lampe et du photomètre de sorte que l'évaluation de l'angle et de la distance sont chaque fois à reprendre. D'autres dispositifs utilisent un miroir à inclinaison variable pour réfléchir sur le photomètre la lumière de l'arc ; comme le coefficient d'absorption de la lumière par le miroir dépend de l'inclinaison, les conditions physiques de l'expérience ne sont pas les mêmes pour les diverses positions du miroir.

Dans le dispositif adopté au Laboratoire central, la lampe et le photomètre sont fixes et l'inclinaison du miroir par rapport aux rayons qu'il réfléchit est constante. Pour cela la lampe est suspendue de manière que l'arc occupe le centre d'une circonférence verticale le long de laquelle on déplace le miroir. Le miroir est orienté de telle façon que les rayons qu'il réfléchit tombent sur le photomètre placé suivant l'horizontale perpendiculaire au plan de la circonférence et passant par son centre. Les rayons directs tombant sur le photomètre sont arrêtés par un écran. En prenant assez grande la distance de l'arc au photomètre, on peut négliger l'erreur résultant de la légère inclinaison des rayons réfléchis par rapport à l'axe du photomètre.

Les figures 1 et 2 donnent une élévation de l'appareil suivant deux plans verticaux. Le miroir ou plutôt les miroirs (car il y en a

---

(1) *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*. t. XVI, p. 288-302, juin 1899.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 413, 1er juin 1895.

deux pour des raisons indiquées plus loin) ont 60 cm de large sur 80 de haut afin de donner une image complète des lampes ayant des globes de 50 cm de diamètre et des réflecteurs de 70 cm de diamètre. Pour que le globe ne masque pas son image, le centre de chaque miroir est placé à 85 cm de l'axe de rotation. Chaque miroir, dont le poids est d'environ 20 kg, est fixé à un cercle en fer portant 6 galets roulant sur un second cercle concentrique solidement fixé à une charpente en bois de forme octogonale ; un contrepoids placé sur le cercle intérieur mobile équilibre le miroir ; quatre vis de pression traversant

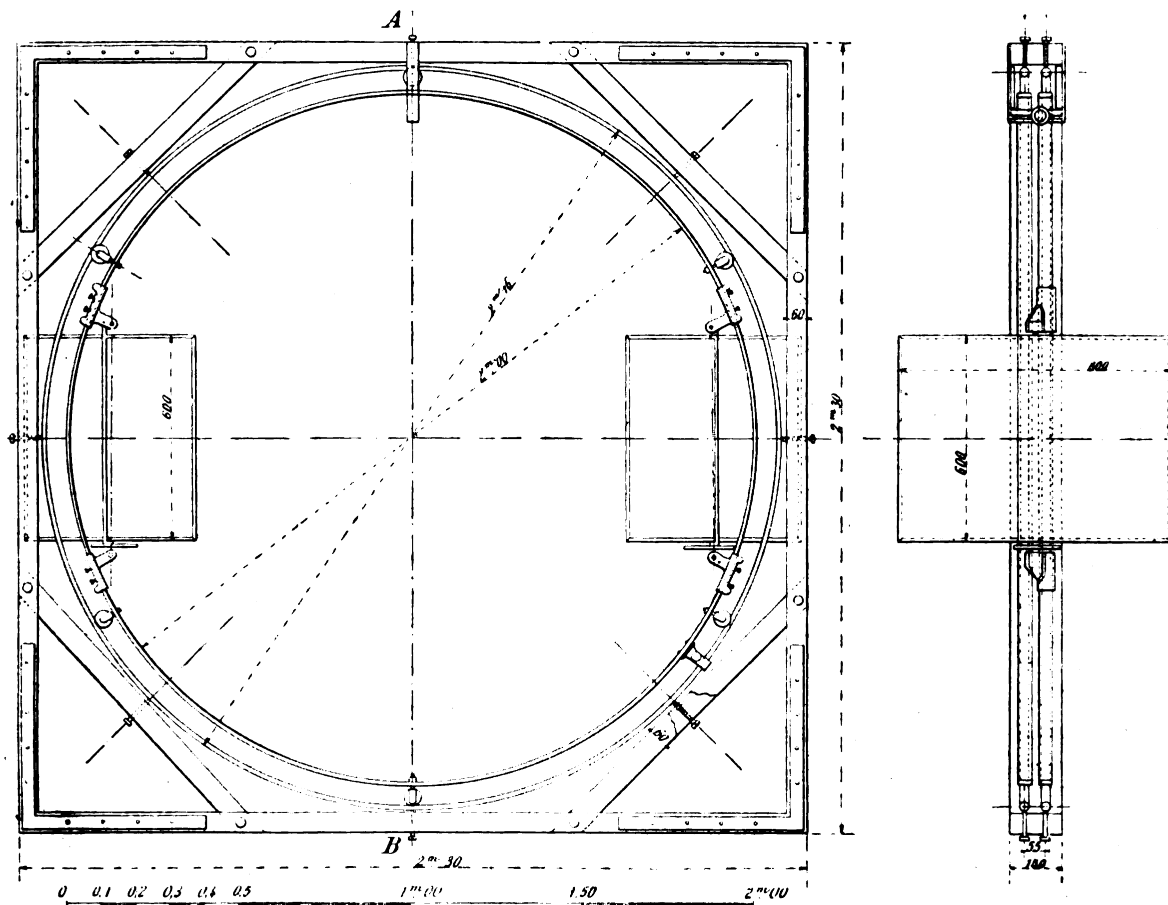


Fig. 1 et 2. — Appareil du Laboratoire central d'électricité pour l'étude de la répartition lumineuse des lampes à arc.

les quatre traverses inclinées de la charpente octogonale permettent de rectifier le cintrage du cercle extérieur de roulement. Le plan vertical dans lequel se déplace le centre de l'un des miroirs est un peu en avant du centre de l'arc ; celui dans lequel se déplace l'autre miroir est légèrement en arrière.

L'emploi de deux miroirs a été amené par la nécessité de corriger l'erreur due à ce que, le cratère de l'arc n'occupant pas une position symétrique par rapport à l'axe vertical de l'appareil la répartition de la lumière n'est pas la même dans tous les plans verticaux passant par l'arc. A chaque instant il y a un plan pour lequel toutes les intensités lumineuses sont plus fortes que dans tous les autres, et un second plan, pour lequel elles sont minimum. Or d'après les résultats de l'expérience ces deux plans sont sensiblement à 180° l'un de l'autre ; de plus la moyenne des intensités lumineuses dans deux directions situées dans des plans à 180° mais également

inclinées sur l'horizon ne diffère pas sensiblement de la moyenne des intensités prises dans différents plans verticaux (1). Par conséquent en plaçant les deux miroirs symétriquement par rapport à l'axe vertical de l'appareil, on concentrera sur le photomètre la lumière émise dans les deux directions correspondant à la valeur moyenne ; on s'évitera ainsi la peine de faire de nombreuses lectures dans divers azimuts. D'ailleurs si l'on voulait une précision plus grande on pourrait faire deux séries de mesures en faisant tourner la lampe de 90° : la moyenne donnerait l'intensité moyenne de quatre directions.

L'emploi de deux miroirs permet d'ailleurs de diminuer, du moins dans le cas des arcs alternatifs, les erreurs dues à une autre cause : la rotation de l'arc. M. Laporte a constaté en effet que quand on mesure l'intensité d'un arc alternatif dans une seule direction au moyen d'un seul miroir, cette intensité varie dans le rapport de 1 à 4, suivant la position de l'arc, tandis qu'elle ne varie plus que dans le rapport de 1 à 1,25 lorsqu'on prend deux directions symétriques par rapport à la verticale (2).

(1) M. Rousseau, professeur à l'Université de Bruxelles, a trouvé pour les intensités d'une lampe suivant quatre directions également inclinées, mais situées dans des azimuts rectangulaires :

Azimuts	0°	90°	180°	270°
Intensité	83,4	67,2	28,6	45,1
	81,6	65,8	27,8	41,3

Ces intensités sont fort différentes, mais on remarque que, en prenant les moyennes des intensités lumineuses dans des azimuts à 180° ; ces moyennes sont très voisines de la moyenne générale : 56 et 56,15 au lieu de 56,1 ; 54,7 et 53,5, au lieu de 54,1.

M. Welding et M. Georges dans leurs travaux sur la répartition lumineuse de l'arc alternatif, ont également admis que la moyenne des courbes de répartition dans deux azimuts à 180° représente la moyenne de la répartition dans tous les azimuts.

(2) Pour éliminer à peu près complètement ces erreurs sans avoir besoin de faire un grand nombre de lectures à divers instants, M. Laporte conseille de suivre au photomètre la variation de l'intensité et de faire deux mesures aux moments où elle passe par des maximum et deux autres aux moments où elle passe par des minimum. La moyenne de ces quatre lectures coïncide avec la moyenne de nombreuses lectures faites à des instants indéterminés.

Le banc photométrique disposé en face la lampe est un banc provisoire en bois, construit au laboratoire et dont la longueur est seulement de 2,3 m environ. Le photomètre est à l'extrémité du banc ; la lampe à incandescence qui sert de terme de comparaison est montée sur un chariot se déplaçant sur le banc de manière à permettre l'égalisation des éclairements. Le photomètre est du système Lummer-Brodhum. Pour faciliter la mesure de l'égalisation de la lumière de l'arc avec celle produite par la lampe à incandescence l'observation se fait à travers une cuve à faces parallèles remplie de la solution de Crova.

La lampe à arc à étudier est suspendue à la chape d'une poulie fixée à la charpente supportant les miroirs. Cette chape est à pivot, de manière à pouvoir faire tourner la lampe autour d'un axe vertical. Le centrage de l'arc se fait en déplaçant la lampe suivant la verticale au moyen de la corde de suspension et suivant une horizontale par le déplacement du point d'attache de cette corde.

Les mesures se font comme suit :

« L'arc étant centré et son régime étant bien établi, on commence par mesurer l'intensité lumineuse horizontale en recevant directement sa lumière sur le photomètre. La mesure est longue, car il faut faire des lectures photométriques nombreuses et dans plusieurs directions (1). Puis les miroirs étant placés à l'angle 90°, direction horizontale, les angles étant comptés à partir de la verticale, on règle leur inclinaison, on masque la lumière directe de l'arc, on détermine au photomètre l'éclairement de l'écran. On mesure la distance du photomètre au miroir, on y ajoute celle du miroir à l'arc. Il est facile de calculer l'intensité lumineuse correspondante, en tenant compte des deux miroirs. Elle devrait être égale à celle obtenue directement. Le rapport de ces deux intensités lumineuses

(1) Connaissant la distance du photomètre à l'arc, l'intensité lumineuse de la lampe de comparaison et sa distance au photomètre pour l'égalité d'éclairement, il est facile de calculer l'intensité lumineuse horizontale de l'arc.

donne le rendement du miroir et l'effet de l'inclinaison du rayon réfléchi sur le photomètre.

» Ce résultat est sujet à une erreur probable assez grande, plus forte que celle des autres mesures puisqu'elle dépend de deux intensités lumineuses d'arc dont l'une provient de mesures faites d'un seul côté à la fois, et que la lumière émise horizontalement varie beaucoup d'un moment à l'autre. Ce rendement des miroirs a été vérifié au moyen d'une lampe à pétrole de 60 bougies qui reste assez constante pendant le temps d'une expérience. En opérant comme je viens de le dire pour l'arc, j'ai obtenu le rendement de 0,82, c'était à peu près la moyenne des résultats obtenus avec l'arc (0,81).

» L'intensité horizontale étant mesurée on abaisse les miroirs à 10° au-dessous de l'horizon, et l'observateur placé au photomètre fait, comme il a été dit, quatre lectures correspondant à deux maxima et à deux minima. A chaque lecture, les indications des appareils de mesures (voltmètre, ampèremètre, wattmètre) sont relevées. Les miroirs sont ensuite baissés de nouveau de 10° et ainsi de suite de proche en proche.

» Pour les angles voisins de la verticale, les dimensions des miroirs ne permettent plus leur emploi simultané. On fait alors les lectures successivement avec les deux miroirs. D'ailleurs ces directions offrent peu d'intérêt; l'intensité lumineuse est assez faible et n'intervient que pour une part minime dans le calcul du flux.

» Connaissant par l'expérience préliminaire l'absorption du miroir, on calcule pour chaque direction l'intensité vraie correspondante directement et sans passer par l'intermédiaire obligé de l'intensité horizontale. »

A titre d'exemple, M. Laporte donne les résultats de mesures faites sur une lampe Kremenesky à courants alternatifs, munie de charbons Siemens, série A, le charbon supérieur étant à mèche et de 16 mm de diamètre, le charbon inférieur homogène et de 15 mm de diamètre. La lampe était alimentée par le courant du secteur de la rive gauche (fréquence 42); elle était montée en série avec une bobine de self-induction aux bornes d'un transformateur abaissant la tension de 110 à 40 volts environ.

Les mesures faites avec l'arc nu ont donné les résultats suivants :

Différence de potentiel à la lampe.	37 volts.
Intensité	14 ampères.
Puissance dépensée dans la lampe.	455 watts.
Différence de potentiel avec la bobine de réglage.	40 volts.
Coefficient de puissance	0,81
Intensité moyenne hémisphérique inférieure.	403 bougies.
Flux hémisphérique inférieur . . .	2500 lumens.

Ce qui donne :

Par bougie décimale	1,13 watt.
Par watt	5,5 lumens.

Avec le globe et le réflecteur extérieur, le régime de la lampe a changé un peu, bien que son réglage ne fût pas touché :

Différence de potentiel à la lampe.	36,5 volts.
Intensité	13,7 ampères.
Puissance dépensée dans la lampe.	434 watts.
Différence de potentiel avec la bobine de réglage.	39,5 volts.
Coefficient de puissance.	0,80
Intensité moyenne hémisphérique inférieure.	305 bougies.
Flux hémisphérique inférieur . . .	1900 lumens.

Ce qui donne :

Par bougie décimale	1,42 watt.
Par watt	4,4 lumens.

Le rendement du globe est de 80 p. 100. Le globe est opalin, très transparent, et il a été choisi comme tel pour cet essai parmi plusieurs autres, et cependant il absorbe le cinquième de la lumière fournie.

J. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Conductivité et dissociation de quelques électrolytes ;

Par William Foster [1].

Les mesures ont porté sur des sels neutres: sulfate de magnésium, chlorure de magnésium et azotate d'ammonium; sur des sels acides : phosphate double de sodium et d'ammonium, phosphate bisodique et phosphate monopotassique; sur un acide minéral faible: l'acide phosphorique ; sur deux acides organiques : les acides oxalique et citrique ; enfin sur une base forte : l'hydroxyde de sodium.

Ces mesures ont été faites par la méthode à courants alternatifs de Kohlrausch. Les solutions concentrées étaient placées dans un vase du modèle adopté par ce physicien. Les solutions diluées étaient mises dans un vase de verre cylindrique contenant deux électrodes en platine de 3×4 cm²; chaque électrode, verticale, est fixée par un court bras horizontal à une tige verticale ; en faisant tourner la tige de 180° on peut donner à chaque électrode deux positions parallèles de sorte que par la simple rotation d'une tige ou des deux tiges on peut donner à la distance séparant les deux électrodes trois valeurs différentes.

Les résistances des solutions étaient comparées à celles de deux solutions de chlorure de potassium contenant 0,1 et 0,2 gramme-équivalent de sel ; on admettait pour la conductivité de ces solutions à 18° C 1146×10^{-10} et 2242×10^{-10}, d'après les résultats des mesures les plus récentes de Kohlrausch [1], l'unité de conductivité adoptée étant l'unité Siemens, c'est-à-dire celle d'une colonne de mercure de 100 cm de long et de 1 mm² de

Tableau I. — *Conductivités des diverses solutions en unités Siemens.*

m	AzH^4AzO^3 $K_{18} \times 10^{10}$	$1/2\ MgCl^2$ $K_{18} \times 10^{10}$	$1/2\ MgSO^4$ $K_{18} \times 10^{10}$	$1/3\ NaAzH^4HPO^4$ $K_{18} \times 10^{10}$	$1/3\ Na^2HPO^4$ $K_{18} \times 10^{10}$	$1/3\ KH^2PO^4$ $K_{18} \times 10^{10}$	$1/3\ H^3PO^4$ $K_{18} \times 10^{10}$	$1/3\ H^2C^2O^4$ $K_{18} \times 10^{10}$	$1/3\ C^3H^4OH(COOH)^3$ $K_{18} \times 10^{10}$	$NaOH$ $K_{8} \times 10^{10}$	v
Eau. . .	1,38	1,80	1,05	1,64	1,21	1,13	1,89	1,59	1,45	1,58	
0,0001017	13,38	12,75	11,64	6,31	6,17	4,30	11,47	23,83	14,46	»	10000
0,0002032	25,35	23,39	21,89	12,65	11,85	7,42	21,09	44,35	24,66	»	5000
0,0006077	72,63	64,75	59,61	36,40	34,27	19,78	61,02	112,10	57,53	103	1666,6
0,001009	119,02	105,27	95,34	60,41	56,32	31,08	100,94	170,94	84,92	185,3	1000
0,002015	233,29	205,20	177,99	118,89	110	59,96	195,80	327,80	140,94	387,1	500
0,006024	675,30	585,80	464,35	339,51	314,16	170,88	525,41	918,05	290,69	1152,3	166,6
0,01000	1101,33	948	713	548,20	506,40	277	801,70	1483,60	400,15	1906	100
0,03	3174	2628	1750	1522	1410	792	1880	4016	779	5646	33,3
0,05	5748,5	4202	2650	2407	2243	1300	2735	6214	1030	9310	20
0,10	9973,8	7939	4630	4441	4111	2501	4380	10940	1504	18280	10
0,50	44215	33455	16440	16974	15632	10838	12745	35500	3434	81440	2
1	83040	59346	27020	28280	26183	19990	20770	55570	5020	146900	1

[1] *Physical Review*, t. VIII, p. 257-282, mai juin 1899.

[1] Kohlrausch, Holborn et Diesselhorst, *Wied. Ann.* t. LXIV, p. 417, 1898. *L'Ecl. Élect.*, t. XVI, p. 461, 10 septembre 1898.

section. Toutes les mesures furent faites vers 18° C, la température étant déterminée avec un thermomètre permettant d'apprécier le centième de degré.

Les plus grandes précautions ont été prises pour obtenir des solutions parfaitement pures. L'eau distillée était soumise à un traitement spécial ; on prit soin qu'elle ne fût pas contaminée par le gaz carbonique de l'atmosphère de la salle. Les sels étaient purifiés par des nombreuses cristallisations. Les solutions normales, c'est-à-dire contenant 1 gramme-équivalent, étaient préparées directement et, par dilution de celles-ci, on préparait les solutions plus diluées jusqu'à celles ne contenant que 0,01 gramme-équivalent ($m = 0{,}01$). Pour obtenir des solutions plus diluées encore on prenait 500 cm³ d'eau pure ; on en retirait 9,5 cm³ au moyen de pipettes jaugées et on ajoutait successivement 0,5, 0,5, 2 et 2 cm³ de la solution $m = 0{,}1$, puis 0,5, 2 et 2 cm³ de la solution $m = 1$; on avait ainsi sept solutions de concentrations comprises entre $m = 0{,}0001017$ et $m = 0{,}01$.

Le tableau I contient les valeurs des conductivités des diverses solutions étudiées, exprimées en unités Siemens (K). On en déduit facilement la conductivité moléculaire Λ exprimée au moyen de l'unité C.G.S. de conductivité (celle d'un cylindre de 1 cm de longueur et de 1 cm² de base), ces deux quantités étant liées par la relation

$$\Lambda = 0{,}1069 \times 10^8 \times \frac{K}{m}.$$

Le tableau II donne d'ailleurs les valeurs de $\frac{K}{m} \times 10^8$ et celles de Λ.

Les courbes de la figure 1 ont été obtenues en portant en abscisses la racine cubique de la concentation ($m^{1/3}$) et en ordonnées les valeurs de $\frac{K}{m} \times 10^8$; on n'a pas représenté la courbe de l'hydroxyde de sodium et celle de l'acide oxalique n'a été qu'en partie représentée.

L'auteur à également déterminé le coeffi-

TABLEAU II. — *Conductivités moléculaires.*

m	AzH^4AzO^3		1/2 $MgCl^2$		1/2 $MgSO^4$		1/3 $NaAzH^4HPO^4$		1/3 Na^2HPO^4		1/3 KH^2PO^4		1/3 H^3PO^4		1/3 $H^2C^2O^4$		1/3 $C^3H^4OH-(COOH)^2$		NaOH		ν
	$\frac{K}{m}10^8$	Λ	$\frac{K}{m}10^8$	Λ	$\frac{K}{m}10^8$	Λ	$\frac{K}{m}10^8$	Λ	$\frac{K}{m}10^8$	Λ	$\frac{K}{m}10^8$	Λ	$\frac{K}{m}10^8$	Λ	$\frac{K}{m}10^8$	Λ	$\frac{K}{m}10^8$	Λ	$\frac{K}{m}10^8$	Λ	
0,0001	1 180	126,1	1 077	115,1	1 041	111,4	(459)	—	(488)	—	(312)	—	(942)		2 200	235,2	1 280	136,8	—		10 000
0,0002	1 179	126,0	1 062	113,5	1 021	109,1	(542)	—	(523)	—	(309)	—	(945)		2 100	224,5	1 142	122,1	—		5000
0,0006	1 172	125,3	1 036	110,7	962	102,8	(572)	—	(544)	—	(307)	—	(973)		1 820	194,5	923	98,7	—		1666,6
0,001	1 165	124,5	1 026	109,7	935	100,0	(582)	—	(546)	58,4	297	31,7	982	105,0	1 690	180,7	827	88,4	(1 820)		1000
0,002	1 151	123,0	1 009	107,9	878	93,0	582	62,2	540	57,7	292	31,2	962	102,8	1 610	172,1	692	74,0	1 913	204,5	500
0,006	1 119	119,6	969	103,6	769	82,2	561	60,0	519	55,5	282	30,1	869	92,9	1 520	162,5	482	51,5	1 910	204,2	166,6
0,01 (Direct)	1 100	117,6	948	101,3	713	76,1	546	58,4	505	54,0	276	29,5	799	85,4	1 480	158,2	399	42,7	1 904	203,5	100
0,01	1 108	118,4	949	101,4	713	76,1	545	58,3	504	53,9	275	29,4	790	84,5	1 480	158,2	396	42,3	1 902	203,3	100
0,03	1 057	113,0	876	93,6	583	63,3	507	54,2	470	50,2	264	28,2	627	67,0	1 339	143,1	260	27,8	1 882	201,2	33,3
0,05	1 029	110,0	840	89,8	530	56,6	481	51,4	449	48,0	260	27,8	547	58,5	1 243	132,9	206	22,0	1 862	199,0	20
0,10	997	106,6	794	84,7	463	49,5	444	47,5	411	44,0	250	26,7	438	46,8	1 094	116,9	150,4	16,1	1 828	195,4	10
0,50	884	94,5	669	71,5	329	35,2	339,5	36,3	313	33,5	217	23,2	255	27,3	710	75,9	68,7	7,3	1 629	174,1	2
1,00	830,4	88,8	593,5	63,4	270	28,9	283	30,3	262	28,0	200	21,4	207,7	22,2	555,7	59,4	50,2	5,4	1 469	157,0	1

TABLEAU III. — *Degré de dissociation.*

m	AzH^4AzO^3	1/2 $MgCl^2$	1/2 $MgSO^4$	1/3 $NaAzH^4HPO^4$	1/3 Na^2HPO^4	1/3 KH^2PO^4	1/3 H^3PO^4	1/3 $H^2C^2O^4$	1/3 $C^3H^4OH(COOH)^3$	NaOH	v
0,0001	1	0,988	0,946	»	»	»	»	0.621	0.366	»	10000
0,0002	0.999	0.974	0.928	»	»	»	»	0.593	0.324	»	5000
0.0006	0.993	0.950	0.874	»	»	»	»	0.511	0.264	»	1666.6
0,001	0,987	0.941	0.850	»	»	0.990	0.869	0.477	0.237	»	1000
0,002	0,975	0.926	0.798	0.954	0.964	0.973	0.851	0.455	0.198	0.929	500
0.006	0.948	0.889	0,699	0.920	0.927	0.940	0.769	0.429	0.138	0.927	166.6
0.01	0.932	0.870	0.648	0.895	0.902	0.920	0.707	0,418	0.114	0.923	100
0.03	0.896	0.804	0.530	0.831	0.839	0.880	0.555	0,378	0.0745	0.907	33.3
0,05	0.872	0.771	0.482	0.789	0.802	0.867	0.484	0.351	0.0599	0.898	20
0.10	0.845	0,728	0.420	0,728	0,734	0.833	0.388	0.309	0.0431	0.881	10
0.50	0.749	0,614	0,299	0,556	0.559	0.723	0.226	0.201	0,0197	0.785	2
1	0.704	0.545	0.245	0.464	0.468	0.667	0.184	0.157	0.0144	0.713	1

cient de température entre 18° et 26°, c'est-à-dire le rapport

$$C = \frac{1}{K_{18}}\left(\frac{K_{26} - K_{18}}{8}\right)$$

Il a obtenu les valeurs suivantes :

AzH^4AzO^3	0,0201	KH^2OP^4	0,0220
$MgCl^2$	0,0221	H^3PO^4	0,0103
$MgSO^4$	0,0224	$(COOH)^2$	0,0141
$NaAzH^4HPO^4$. .	0,0236	$C^3H^4OH(COOH)^3$	0,0109
Na^2HPO^4. . . .	0,0257	NaOH	0,0208

M. Foster a aussi calculé le degré de dissociation ou d'ionisation de ces solutions, c'est-à-dire le rapport de la conductivité moléculaire d'une solution de concentration m à la conductivité moléculaire de cette solution infiniment diluée ; il a trouvé les nombres inscrits dans le tableau III.

Les valeurs de la conductibilité moléculaire pour une dilution infinie employées dans le calcul des nombres de ce tableau sont les suivantes :

AzH^4AzO^3	1 180	KH^2PO^4	300
$MgCl^2$	1 090	H^3PO^4	1 130
$MgSO^4$	1 100	$(COOH)^2$.	3 540
$NaAzH^4HPO^4$ . .	640	$C^3H^4OH(COOH)^3$.	3 490
Na^2HPO^4	560	NaOH	2 060

M. Foster examine ensuite les résultats trouvés pour chacun des sels en particulier

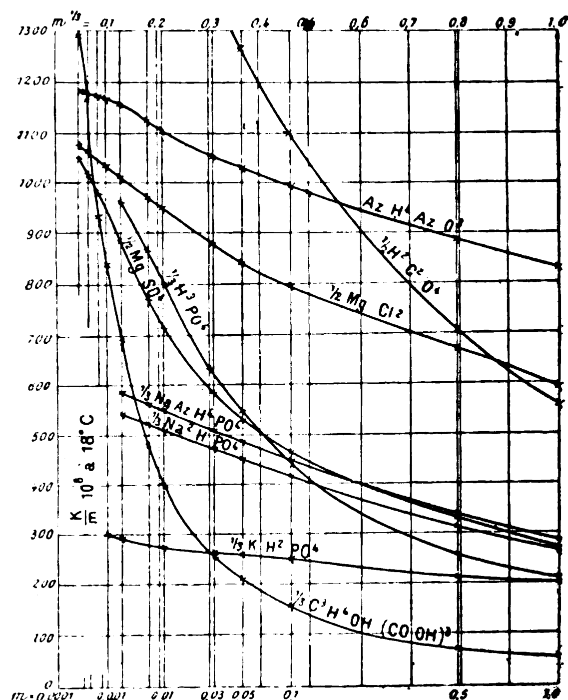


Fig. 1.

et discute les conséquences de ces résultats au point de vue de la vérification de la

théorie de la dissociation d'Arrhénius.

Il compare aussi les valeurs du degré de dissociation qu'il a obtenues avec celles que M. Loomis a déduites des points de congélation des solutions [1]. Nous ne le suivrons pas dans cette discussion qui nous entraînerait trop loin et nous nous bornerons à dire que ses propres résultats concordent en général aussi bien qu'on pouvait l'espérer avec les résultats de M. Loomis et avec les conséquences de la théorie d'Arrhénius.

J. B.

Vitesse de migration des ions électriques dans les dissolutions aqueuses étendues, au-dessous de la concentration décinormale, à 18°;

Par F. Kohlrausch [2].

Pour les électrolytes fortement conducteurs il n'existe aucune règle théorique qui permette de calculer leurs conductibilités comme la règle d'Ostwald qui s'applique aux conducteurs médiocres. Pour grouper les données numériques autrement qu'en tableaux démesurés, on ne peut procéder que par voie empirique et choisir une propriété des ions qui soit indépendante des circonstances particulières.

Il n'y a guère d'autre propriété de ce genre que la vitesse de migration des deux ions, déduite de la conductibilité de la dissolution et des nombres de transport de Hittorf.

Il est évident à priori que ces considérations générales ne peuvent être appliquées qu'aux dissolutions étendues et précisément les données expérimentales relatives à ces dissolutions sont encore fort incomplètes. Actuellement, on n'est pas en mesure de faire autre chose qu'une première approximation.

L'hypothèse qui servira de base au calcul, c'est que le même ion possède dans des électrolytes différents mais à la même concentration la même vitesse de migration. Cette hypothèse n'a pour le moment aucun fondement théorique : bien plus, elle est contraire à la théorie de la dissociation électrolytique.

Voici quelle sera la marche du calcul. Soient deux anions A, A' et deux cations K, K', ils peuvent former quatre électrolytes AK, AK', A'K et A'K'. Les conductibilités de ces électrolytes sont connues pour une certaine concentration, η molécules par litre; soient x_1, x_2, x_3, x_4, ces conductibilités et $\Lambda_1 = \frac{x_1}{\eta}$, $\Lambda_2 = \frac{x_2}{\eta}$, $\Lambda_3 = \frac{x_3}{\eta}$, $\Lambda_4 = \frac{x_4}{\eta}$ les conductibilités moléculaires.

Désignons par l_A, l'_A, l_K, l'_K les vitesses de migration cherchées et supposons de plus que le nombre de transport n de l'anion A soit aussi connu. On a par définition

$$l_A = \Lambda_1 n \quad \text{et} \quad l_K = \Lambda_1 (1 - n)$$

Pour calculer l'_A et l'_K il suffit à présent de connaître les conductibilités des électrolytes A'K et AK' sans autre nombre de transport : car on a immédiatement :

$$l'_A = l_A + \Lambda_2 - \Lambda_1$$
$$l'_K = l_K + \Lambda_3 - \Lambda_1.$$

Comme vérification, on doit avoir :

$$\Lambda_4 = l'_A + l'_K.$$

Si on connaît les autres nombres de transport, on a encore d'autres vérifications.

Les résultats se résument comme il suit :

1. Pour les concentrations comprises entre 1/20 et 1/10 d'équivalent par litre, on peut calculer les conductibilités des électrolytes formés de deux ions monovalents, ou d'un ion monovalent et d'un ion bivalent au moyen d'une seule série de nombres, par l'addition des vitesses de migration, qui pour chaque ion dépendent seulement de la concentration. Pour les combinaisons de deux ions bivalents, il faut employer un tableau spécial.

2. Pour les sels à deux ions monovalents le calcul des vitesses de migration à partir des conductibilités et des nombres de transport conduit pour chaque ion à une valeur l, plus petite que la valeur l_∞ correspondant à une

---

[1] *Physical Review*, t. III, n° 16, 1896 et t. IV, n° 22, 1897.

[2] *Wied. Ann.*, t. LXVI, p. 785-825.

dilution infinie de l'ion ; à 18°, l_∞ est compris entre 25 ou 70 : la différence $l_\infty - l$ est sensiblement la même pour tous les ions.

3. La diminution depuis la valeur limite l_∞ correspondant à une concentration nulle jusqu'à la valeur l correspondant à une concentration η est proportionnelle à la concentration linéaire $\eta^{\frac{1}{3}}$, ou inversement proportionnelle à la distance moyenne r des ions

$$l = l\infty - \frac{P}{r} = l\infty - Q\eta^{\frac{1}{3}}$$

P et Q étant des constantes qui ont à peu près la même valeur pour tous les ions. Si on évalue les conductibilités en cm^{-1}. ohm^{-1} et les concentrations en équivalents-gramme par litre, Q = 213.

4. Pour les ions OH et H des bases et des acides, dont la vitesse de migration est beaucoup plus grande, la diminution est d'environ deux ou trois fois plus grande. Il y aurait lieu de chercher par des expériences plus précises si parmi les autres ions les plus mobiles n'ont pas aussi une diminution plus rapide.

5. Les vitesses de migration des ions bivalents, dans leurs combinaisons avec les ions monovalents, peuvent aussi se calculer approximativement, dans les limites indiquées ci-dessus, au moyen de nombres dépendant seulement de la concentration. Ces nombres décroissent quand la concentration augmente, comme dans le cas des ions monovalents : mais la diminution est deux ou trois fois plus rapide : les écarts entre les divers ions sont plus considérables.

6. Dans les combinaisons des ions monovalents avec les ions bivalents, il faut modifier quelque peu les nombres admis ; il faut augmenter le coefficient de diminution des ions monovalents et diminuer celui des ions bivalents.

7. Les anions ou cations bivalents, quand ils sont unis à des ions bivalents ont une diminution de vitesse plus grande que s'ils sont unis à des ions monovalents.

8. L'hypothèse que la vitesse de migration des ions en solution infiniment diluée est caractéristique de l'ion, n'entraîne pour aucun corps l'écart plus important que les erreurs possibles d'expérience et d'extrapolation.

M. L.

Recherches sur la capacité de polarisation ;

Par A.-M. Scott [1].

1. *Polarisation des membranes minces.* — Luggin attribue les phénomènes de polarisation observées sur les membranes métalliques minces, une feuille d'or, par exemple, aux pores qui traversent la feuille. Si cette explication est exacte le courant doit se partager entre les pores et le métal d'après la résistance des pores et la capacité de polarisation de la feuille d'or. Si on insère dans la branche d'un réseau de Wheatstone un voltamètre renfermant un diaphragme formé d'une feuille d'or et une électrode impolarisable, on a :

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{c_2}{c_1} = \frac{r'_1}{r'_2} = \frac{r_3}{r_4}$$

où r_1 représente la résistance du voltamètre plus celle des pores et r'_1 la résistance du voltamètre plus celle du métal, c_1 la capacité de polarisation de la membrane, r_2, r'_2, c_2, les quantités correspondantes dans la branche conjuguée : la résistance r'_2 est en série avec la capacité c_2 et la résistance r_2 en dérivation sur c_2 et r'_2.

Le condensateur c_2 est constitué par deux fils d'aluminium plongés dans l'acide sulfurique et qui ont servi comme électrodes pendant quelques minutes sous une force électromotrice de 10 volts : les deux fils forment ensuite un véritable condensateur dont la capacité peut varier de 0,01 à 0,1 microf.

Des expériences préliminaires effectuées sur une feuille d'or de 0,03 mm d'épaisseur dans laquelle était pratiqué un trou de 0,018 mm^2 ont prouvé qu'il était possible d'obtenir l'équilibre du réseau et un bon minimum dans le téléphone.

---

(1) *Wied. Ann.*, LXVII, p. 388-420.

Les mesures effectuées sur une feuille d'or prouvent que le courant se partage entre le métal et les pores, mais la plus grande partie passe par ceux-ci.

Dans une feuille de platine qui a été laminée sur argent, il n'y a pas de pore : la résistance r_2 qui correspond à celle des pores est nulle. La capacité de polarisation n'est pas en relation simple avec l'épaisseur ; avec le platine comme avec l'or, on constate que la polarisation entraîne une augmentation de la résistance [1].

Le platine platiné présente comme on devait s'y attendre une capacité de polarisation plus grande et une résistance plus faible.

Une polarisation prolongée par un courant de sens constant influe sur la capacité de polarisation comme l'a montré Gordon (*loc. cit.*). M. Scott a étudié cette influence à l'aide d'une modification d'un réseau de Wheatstone

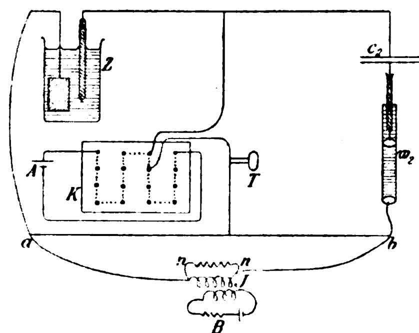


Fig. 1.

(fig. 1). La force électromotrice de sens constant est intercalée dans le circuit du téléphone T et sans troubler le courant alternatif envoie le courant dans le voltamètre Z par le téléphone et le tambour du réseau. Le courant de l'accumulateur A passe dans la boite de résistance K : une dérivation prise sur cette boite permet de faire varier la différence de potentiel aux bornes du voltamètre. La capacité du condensateur à lame de mica c_2 peut varier de 0,1 à 1,1 microf ; la résistance r_2 se compose d'une cuve électrolytique avec électrodes impolarisables ; *ab* représente le tambour du réseau. Le courant alternatif est fourni par une petite bobine d'induction J. L'une des électrodes du voltamètre Z a une très grande surface par rapport à l'autre, de sorte que toute la polarisation porte sur cette dernière.

Platine. — La polarisation par l'hydrogène dans l'eau acidulée sulfurique diminue d'abord la capacité de polarisation du platine qui a été d'abord porté au rouge : cette diminution dure assez longtemps et la capacité atteint un minimum ; si la force électromotrice polarisante dépasse 0,5 volt, il n'y a pas de minimum : la capacité croît dès le début avec une vitesse qui dépend de la force électromotrice polarisante et de l'état du platine. Quand le platine est fortement chargé d'hydrogène, sans que cependant l'électrolyse se produise encore, la capacité de polarisation présente un maximum de très grande valeur. Quand l'hydrogène commence à se dégager, la capacité diminue rapidement. Comme l'ont signalé plusieurs observateurs, la petite électrode au bout de quelque temps se recouvre de noir de platine.

La polarisation par l'oxygène augmente aussi beaucoup la capacité et cette capacité passe par un maximum quand la force électromotrice de polarisation atteint 0,4 volt : lorsque l'électrolyse se produit, la capacité redevient à peu près ce qu'elle été immédiatement après la calcination. La capacité de polarisation du platine fraîchement calciné serait de 50 microf par cm² environ.

Or. — La polarisation par l'hydrogène fait croître aussi la capacité de polarisation de l'or, mais celle-ci revient rapidement à sa valeur primitive quand on interrompt le courant polarisant. Si on polarise par l'oxygène, la capacité croit toujours contrairement à ce qui se passe pour le platine : au moment de l'électrolyse, elle atteint une valeur assez élevée peut-être parce que le métal commence à se dissoudre ; cependant on ne réussit pas à

[1] Cf Wien. *Écl. Élect.*, t. IX, p. 459 ; Gordon. *Ibid.* t. XII, p. 527.

le déceler dans la liqueur. La capacité de l'or qui vient d'être porté au rouge et poli est de 10,35 microf par cm^2.

Aluminium. — La capacité initiale est d'environ 10,6 microf par cm^2; si l'électrode est polarisée à 1,30 volt par l'hydrogène, la capacité monte à 15,8 microf. Lorsqu'on polarise l'aluminium par l'oxygène, la surface se recouvre d'une couche isolante : si la polarisation est de 1,75 volt, la capacité s'abaisse alors à 3,7 microf par cm^2. Dans ces conditions l'électrode polarisée représente un condensateur sur lequel se trouverait en dérivation une résistance assez grande, ce qui oblige à modifier un peu le dispositif pour obtenir un bon minimum dans le téléphone : c'est alors la résistance r'_2 qui est très petite et r_2 qui est relativement considérable.

Argent. — L'argent se dissout dans l'acide sulfurique en quantité suffisante pour que la polarisation soit à peine appréciable. Si l'argent a été dès le début polarisé par l'hydrogène, ce qui empêche la dissolution du métal, la capacité de polarisation s'abaisse à 20 microf par cm^2 (platine, 2000 microf dans les mêmes conditions).

Plomb. — Il se forme toujours sur la surface du plomb des oxydes des sels peu solubles et peu conducteurs, ce qui complique le phénomène ; tant que la polarisation par l'hydrogène est faible, ces composés existent et il faut pour obtenir le minimum du téléphone introduire une résistance en dérivation dans la branche conjuguée. Cette couche isolante disparaît quand la polarisation atteint 1,3 volt et on observe un maximum de la capacité, sans doute parce que l'électrode devient alors réversible. Si la force électromotrice de polarisation augmente encore, le plomb se précipite de la solution.

Mercure. — Les divers électrolytes dans lesquels plongent l'électrode sont saturés du sel mercureux de même acide. La capacité toujours très grande au début, décroît quand on polarise l'électrode par l'hydrogène, d'abord rapidement, puis plus lentement et enfin remonte un peu avant que le dégagement de gaz commence.

Le minimum de capacité se produit dans les conditions suivantes :

Electrolyte.	Polarisation en volts.	Capacité en $\frac{\text{microf.}}{\text{cmq.}}$
$3n\ HCl + Hg^2Cl^2$ [1] . . .	0,56	11,1
$nHCl + Hg^2Cl^2$	0,56	7,21
$nNa^2S + \frac{n}{100} HgS$ . . .	0,0,8 — 0,04	24,3
$nKI + \frac{n}{100} Hg^2I^2$. . . .	0,64	18,8
$nCAzSK + \frac{n}{100} CAzSHg$	0,71	18,1
$nSO^4H^2 + SO^4Hg^2$. . . .	0.72	7,26

Les valeurs de la polarisation sont d'accord sauf pour KI et KAzCS avec celles qui d'après Meyer et Rothmund correspondent au maximum de la constante capillaire : il faut en conclure que s'il n'y a aucune différence de potentiel entre le mercure et l'électrolyte, la capacité de polarisation passe par un minimum.

Pour contrôler ce résultat, l'auteur a mesuré la force électromotrice des combinaisons du type


$$Hg \mid Hg^2SO^4 \mid HCl \mid Hg$$

sous la forme d'électrodes normales au calomel. Les résultats sont d'accord avec les précédents, sauf dans le cas des dissolutions renfermant les sels complexes de mercure, CAzSK, KI, Na^2S. Or on sait que dans ces différents cas, on ne réussit plus à mesurer la différence de potentiel entre le mercure et l'électrolyte par le maximum de tension capillaire du mercure.

Influence de la pression sur la capacité de polarisation. — La pression n'a aucune influence sur la capacité de polarisation, comme l'ont montré les expériences faites sous des pressions atteignant 1000 atmosphères.

M. L.

[1] n = normal.

De l'influence de la température sur la vitesse des ions;

Par Adolfo CAMPETTI (1).

A propos de la note précédente;

Par Silvio LUSSANA (2).

Les travaux relatifs à l'influence de la température sur le nombre de transport des ions d'un électrolyte sont peu nombreux. En 1892, Bein (3) et Lussana (4) ont donné presque simultanément des résultats contradictoires. D'après Bein lorsque la température s'élève, le nombre de transport décroît et se rapproche de 0,5 ; d'après Lussana ce nombre croît proportionnellement à la température absolue. Les nouvelles recherches, dont nous donnons l'analyse, ne semblent pas trancher davantage la question.

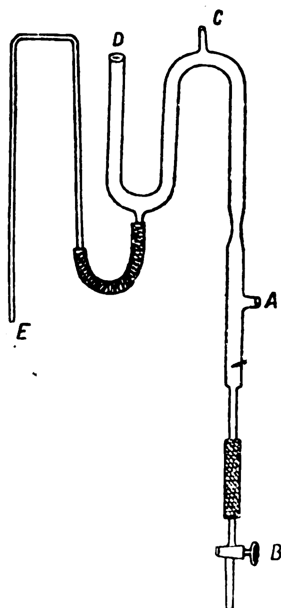


Fig. 1.

La figure 1 représente l'appareil employé par le Dr Campetti. En A est l'anode, en D la cathode. Quand l'expérience est terminée, en débouchant C, on peut faire écouler par B le liquide qui remplit le tube de B en C ; cette partie est séparée en trois pendant l'écoulement et on les analyse séparément. Enfin en fermant B et exerçant une pression par C, on fait écouler par E le reste du liquide. L'appareil était maintenu à température constante par un bain dont la température ne variait pas de plus d'un dixième de degré en 7 ou 8 heures. L'agitation se faisait sans secousse au moyen de tubes verticaux réunis à une poire de caoutchouc qui permettait de faire monter et descendre l'eau du bain. En introduisant une dissolution de sulfate de cuivre jusqu'au milieu de la partie BC et remplissant d'eau on constate après un séjour de 8 heures dans le bain à 50° que le liquide de la portion CD ne présente pas de trace du sel. Il semble donc que l'appareil permet d'éviter la diffusion.

Voici quelques résultats :

Sulfate de cuivre. — Solution à 1,93 p. 100 de sel hydraté :

15°	0,636
47°	0,612

Solution à 4,73 p. 100 :

7°	0,658
18°	0,651
48°	0,628

Sulfate de zinc. — Solution à 3,93 p. 100.

15°	0,666
46°	0,674

Azotate de plomb. — Solution à 3,36 p. 100 de sel anhydre.

8°	0,495
15°	0,509
45°	0,493

Tenant compte des difficultés que présentent de telles expériences, l'auteur conclut que l'influence de la température est négligeable.

Le Dr Lussana adresse les critiques suivantes, un peu exagérées peut-être : l'agita-

(1) *Il Nuovo Cimento*, t. VI, p. 410.
(2) *Il Nuovo Cimento*, t. VI, p. 414.
(3) *Wied. Ann.*, 1892, t. 46.
(4) *Atti del R. Istituto Veneto*, t. III, 1892.

tion du bain est intermittente et par suite la température n'est pas constamment uniforme; les effets de diffusion et les mouvements de convexion ne sont pas évités.

Une critique plus justifiée est celle du procédé employé pour recueillir le liquide. Il y a mélange et cela diminue la différence des concentrations aux deux électrodes, et par suite la valeur du coefficient de transport. Les nombres de Campetti sont tous inférieurs à ceux donnés dans le premier mémoire de Lussana. Mais cette cause d'erreur ne suffit pas à expliquer pourquoi, dans le cas du sulfate de cuivre, le nombre de transport semble décroitre quand la température augmente, tandis qu'il croitrait d'après les expériences de Lussana.

Lussana rappelle que Hittorf a insisté sur ce fait que, dans de telles recherches, la région choisie pour séparer le liquide en deux parties doit conserver pendant l'électrolyse sa composition primitive; Loëb et Nernst disent aussi [1] que le contrôle doit être aussi bien dans l'invariabilité de la région intermédiaire que dans l'égalité des quantités d'argent perdues autour de la cathode et gagnées autour de l'anode.

Lussana rapporte ensuite de nouvelles expériences qu'il a exécutées et qui confirment ses premiers résultats. L'appareil employé est formé par 6 tubes en U disposés verticalement et soudés de façon à présenter l'aspect d'une canne de verre repliée successivement vingt-deux fois à angle droit. A chaque coude inférieur ou supérieur est une tubulure verticale. L'ensemble replié convenablement est introduit dans un cylindre de cuivre baigné par les vapeurs d'un liquide en ébullition. La colonne électrolytique est ainsi partagée en différentes portions séparément analysées. Le nombre des tubes s'oppose aux mouvements de convexion.

Les résultats si différents obtenus par les deux expérimentateurs, permettent d'hésiter encore sur la solution à accepter. De nouvelles expériences ne seraient pas inutiles.

G. Goisot.

(1) *Zeit. für Phis. Chem.*, 2e 951, 1888. Zur kinetik der in Lœsung befindlichen Kœrper-Zweite Abth.

Cohéreurs à décohérence automatique ; étude de l'action cohérente de divers métaux ;

Par J.-Chunder Bose (1).

Dans des expériences avec des cohéreurs confectionnés avec du fer ou de l'acier, l'auteur rencontra de nombreuses difficultés provenant des conditions climatériques du Bengale. Sous l'action de l'humidité et de la haute température ces métaux ne tardent pas à être oxydés et la sensibilité des cohéreurs éprouve une très notable diminution ; en outre les substances soumises aux expériences se recouvrent rapidement d'une couche d'humidité et perdent leur transparence aux ondes hertziennes. Pour éviter autant que possible la diminution de sensibilité des cohéreurs, l'auteur essaya l'emploi de métaux moins oxydables que le fer. Il commença par recouvrir la surface des spirales d'acier formant ses cohéreurs de couches de divers métaux et ayant reconnu que la sensibilité dépend, comme on devait s'y attendre, uniquement de la nature de la couche métallique et non de celle du métal sous-jacent, il s'arrêta à l'emploi de fins fils d'argent enroulés en spirale et recouverts d'une couche de cobalt par voie électrolytique.

M. Bose procéda ensuite à une étude systématique des propriétés de divers métaux au point de vue de leur emploi dans la construction des cohéreurs. La différence de potentiel nécessaire entre les extrémités d'un cohéreur pour obtenir le maximum de sensibilité était ajustée au moyen d'un potentiomètre à contact glissant. La pression la plus convenable entre les points en contact des divers métaux étudiés était obtenue de plusieurs manières. Lorsque l'un des métaux était le

(1) Mémoire lu devant la Royal Society et publié dans *The Electrician* du 21 juillet 1899, t. XLIII, p. 441.

mercure, l'auteur prenait un tube en U contenant ce métal et mettait la substance étudiée en contact avec la surface du mercure de l'une des branches; un plongeur placé dans l'autre branche permettait, en l'enfonçant plus ou moins, de produire une pression, variable à volonté, du mercure contre la substance; dans quelques cas l'augmentation de pression était obtenue par de l'air comprimé à l'aide d'une poire en caoutchouc.

Pour l'étude du contact entre deux pièces métalliques de la même nature on plaçait sur le mercure un petit flotteur en fer portant un tube dans lequel on fixait l'une des pièces métalliques, l'autre pièce étant maintenue au-dessus de celle-ci à l'aide d'un support; on faisait encore varier la pression entre les pièces en contact soit par le plongeur soit par la poire en caoutchouc. Lorsque les métaux étaient sous forme de limailles ou de spirales l'auteur se servait de vis micrométriques pour modifier la pression.

Dans tous ces essais le radiateur était une sphère de platine de 9,7 mm de diamètre; le cohéreur était placé à une assez faible distance.

Voici les résultats généraux qui se dégagent de l'ensemble de ces expériences :

Certains métaux dont le contact n'est pas ordinairement sensible à l'action des ondes électriques peuvent donner lieu à un contact sensible si l'on prend des précautions convenables. La variation de résistance d'un cohéreur dépend à un certain degré des conditions dans lesquelles il est placé et de la façon dont il est ajusté. Un cohéreur nouvellement construit est plus difficile à ajuster mais est beaucoup plus sensible qu'un cohéreur construit depuis quelque temps déjà. Quand les contacts sont brillants et bien polis l'ajustement est également difficile à obtenir, mais ces contacts sont beaucoup plus sensibles que quand ils sont ternes.

Quelques cohéreurs présentèrent des particularités non encore signalées. Ainsi un cohéreur nouvellement construit soumis à une faible différence de potentiel montra une *augmentation de résistance* sous l'action des ondes électriques; sa résistance reprenait sa valeur primitive d'elle-même au bout de quelques instants; les mêmes phénomènes se reproduisirent pendant quelque temps puis le cohéreur se comporta comme à l'ordinaire c'est-à-dire que sa résistance diminua sous l'action des ondes. Un autre cohéreur sembla tout d'abord ne pas être influencé par les radiations électriques; la tache lumineuse de l'échelle galvanométrique restait à la même place éprouvant seulement un tremblement qui d'ailleurs n'avait pas toujours lieu; l'auteur, pensant que cette immobilité pouvait être due à l'interférence de deux impulsions opposées, remplaça le galvanomètre par un téléphone et constata ainsi que le cohéreur était influencé par les ondes électriques et reprenait de lui-même et instantanément sa résistance primitive; après avoir fonctionné 20 ou 30 fois de cette façon, le récepteur perdit sa propriété de recouvrer automatiquement sa résistance primitive; la dernière fois qu'il se comporta ainsi on entendit pendant quelques instants dans le téléphone un son que l'auteur attribue à des mouvements moléculaires dus à une modification dans l'état d'équilibre du cohéreur qui passe d'un état d'équilibre instable (recouvrement automatique de sa résistance) à un autre état plus stable (recouvrement sous l'action d'un choc). La différence de potentiel entre les bornes du cohéreur qui, en tous cas, a une influence sur la sensibilité de l'appareil, avait une influence très marquée dans le cas particulier où le cohéreur augmentait de résistance sous l'action des ondes. Cette augmentation ne se manifestait en effet que quand la différence de potentiel était très faible; elle cessait d'avoir lieu et le cohéreur se comportait comme à l'ordinaire quand cette différence de potentiel était plus grande. Un accroissement de la pression entre les points en contact produisait le même effet qu'un accroissement de la différence de potentiel entre les bornes.

L'étude particulière des cohéreurs a fourni les résultats suivants :

Métaux alcalins. — Le potassium montra toujours un accroissement de résistance sous l'influence des ondes électriques. Pour le constater, on commençait par ajuster la force électromotrice du circuit du cohéreur jusqu'à ce que la tache lumineuse indiquant la déviation du galvanomètre se trouvât à l'extrémité de l'échelle ; on faisait fonctionner le radiateur et l'on constatait que la tache lumineuse se trouvait déviée à l'autre extrémité de l'échelle, correspondant à une moindre déviation du galvanomètre. Dès que le radiateur cessait de fonctionner la tache lumineuse reprenait sa position primitive. Ces phénomènes pouvaient être reproduits indéfiniment lorsque le potassium était plongé dans un bain de kérosène le préservant de l'oxydation. Lorsque le potassium était retiré du bain il continuait à donner une augmentation de résistance sous l'action des ondes, mais il perdait graduellement sa propriété de recouvrer automatiquement sa résistance primitive. Si l'on plongeait alors de nouveau le radiateur dans le bain il reprenait cette propriété. L'auteur aurait voulu répéter ces expériences en mettant le potassium dans le vide ou dans l'hydrogène raréfié, mais les moyens dont il disposait ne le lui permirent pas.

Avec le sodium l'ajustement du cohéreur est plus difficile qu'avec le potassium. Le plus souvent un cohéreur de ce genre augmente de résistance sous l'action des ondes, mais quelquefois on observe une diminution. En prenant quelques précautions le cohéreur reprend automatiquement sa résistance primitive, mais cette propriété est beaucoup moins marquée qu'avec le potassium.

Le lithium du commerce ne donna aucun résultat. M. Bose prépara ce métal par électrolyse du chlorure de lithium fondu. Il obtint alors des contacts sensibles à l'action des ondes électriques. Tantôt il y avait accroissement de la résistance, tantôt diminution, mais plus souvent accroissement que diminution. Quelquefois le cohéreur reprenait de lui-même sa sensibilité, mais il ne gardait pas longtemps cette propriété.

Calcium. — Les métaux alcalins terreux purs ne paraissent pas être sensibles aux ondes. Du calcium obtenu par électrolyse du chlorure entre une anode en charbon et une cathode en fer et dont la pureté laissait à désirer puisqu'il donnait lieu à un dégagement d'hydrogène quand il était plongé dans l'eau, donna des résultats comparable à ceux donnés par le sodium.

Magnésium. — Quand ce métal est bien débarrassé de la couche d'oxyde qui le recouvre, il est très sensible et cette grande sensibilité se produit pour des valeurs de la différence de potentiel et de la pression variant entre d'assez larges limites ; aussi n'est-il pas difficile d'obtenir un cohéreur sensible. L'action des ondes se manifeste par une diminution de la résistance ; toutefois il a été quelquefois constaté une augmentation et l'auteur pense que l'on pourrait sans doute obtenir régulièrement une augmentation en prenant quelques soins. Les cohéreurs en magnésium ne reprennent pas d'eux-mêmes leur résistance initiale.

Zinc et cadmium. — Les cohéreurs en zinc ont une sensibilité médiocre ; ils exigent un ajustement soigné. Les cohéreurs en cadmium sont encore moins sensibles.

Bismuth et antimoine. — Ces deux métaux donnent des cohéreurs très sensibles ; il convient d'avoir une différence de potentiel modérée et une faible pression.

Fer. — La manière dont se comporte ce métal est bien connue. Avec un cohéreur constitué par un contact fer-mercure sous faible pression, l'auteur a constaté une tendance vers une augmentation de la résistance sous l'action des ondes ; mais cette propriété

ne se manifeste pas longtemps et bientôt on observe une diminution de la résistance.

Nickel et cobalt. — Ces deux métaux donnent des cohéreurs très sensibles. La pression et la différence de potentiel doivent être ajustées avec soin.

Manganèse et chrome. — Ils ont été étudiés sous forme de poudres; ils se comportent comme le fer, le nickel et le cobalt.

Aluminium. — Ce métal permet de construire des cohéreurs sensibles.

Étain, plomb, thallium. — Les cohéreurs construits avec l'étain sont difficiles à ajuster, mais quand l'ajustement est obtenu ils sont assez sensibles. Ceux en plomb le sont aussi. Ceux en thallium n'ont qu'une sensibilité modérée.

Molybdène et uranium. — Ces métaux, essayés sous forme de poudres fortement ternies, n'ont montré qu'une faible sensibilité.

Platine et métaux voisins. — La sensibilité du platine est modérée. Le platine spongieux n'est pas plus sensible; sa sensibilité est légèrement augmentée par l'absorption de l'hydrogène.

Le palladium donne de meilleurs résultats que le platine, mais l'ajustement est plus délicat.

L'osmium, étudié sous forme de poudre, n'a qu'une sensibilité modérée; il demande une différence de potentiel assez grande.

Le rhodium est plus sensible.

Cuivre, or et argent. — Avec le cuivre la différence de potentiel doit être très faible; la sensibilité est médiocre.

L'or est beaucoup plus difficile à ajuster mais sa sensibilité est beaucoup plus grande.

Les cohéreurs en argent sont très instables; ils montrent quelquefois un accroissement de la résistance.

En terminant M. Bose fait observer que l'augmentation de la résistance observée avec plusieurs métaux et surtout avec le potassium indique qu'il n'y a pas d'action cohésive, du moins pour ces métaux, car on ne conçoit pas qu'une augmentation de la cohésion puisse avoir d'autre effet qu'une diminution de la résistance.

Il ajoute que cette augmentation de la résistance ne peut être attribuée à une action des radiations lumineuses de l'étincelle de l'oscillateur. Il a bien constaté que le potassium possède des propriétés photo-électriques, mais ces propriétés sont surtout sensibles avec les ondes ultra-violettes. Or quand le potassium est plongé dans du kérosène contenu dans une cuve à parois de verre, les ondes ultra-violettes ne peuvent arriver jusqu'à lui; il s'en est d'ailleurs assuré expérimentalement en constatant que la lumière produite par la combustion d'un ruban de magnésium placé dans le voisinage de la cuve n'a aucun effet. D'autre part des écrans opaques placés sur le trajet des ondes électriques n'empêchaient pas l'augmentation de résistance de se produire, tandis qu'en plaçant un polariseur et un analyseur d'ondes électriques sur le parcours de ces ondes, on n'observait plus de variation de résistance. J. B.

CHRONIQUE

Nouvelle matière isolante pour la confection des câbles. — D'après un récent brevet anglais (n° 2 610, déposé le 6 février 1899, accepté le 15 avril 1899), M. G.-E. Heyl-Dia obtient un excellent isolant à base de cellulose, en opérant de la manière suivante :

A de la pâte de papier, on ajoute des huiles non hygrométriques ou des dissolutions de résine ou de

poix privées de leur eau de constitution; on brasse énergiquement le mélange de manière à le rendre bien homogène, puis on en fait du papier. La quantité d'huile ou de dissolution peut varier de 5 à 40 p. 100 suivant la nature de la pâte ; avec de la pâte de qualité moyenne la proportion du liquide doit être d'environ 25 p. 100.

Au lieu de liquides isolants, on peut incorporer à la pâte des isolants solides, tels que craie, talc, etc., dans la proportion de 10 à 50 p. 100 suivant la qualité de la pâte, la proportion étant d'environ 30 p. 100 pour une pâte de qualité moyenne.

Sur les spectres des décharges oscillantes. — M. G. A. Hemsalech vient de publier (*Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 285, 31 juillet 1899), un résumé des recherches qu'il a faites sur ce sujet au laboratoire de Recherches physiques de M. Lippmann.

Dans un travail (*Proc. Roy. Soc.*, t. LXIV, p. 331) fait en collaboration avec M. Schuster, l'auteur avait reconnu qu'en insérant une bobine de self-induction dans le circuit extérieur d'une bouteille de Leyde, on peut éliminer dans le spectre de l'étincelle presque toutes les raies provenant de l'air, de telle façon qu'on obtient, d'une manière très nette, les raies dues seulement au métal, qui constitue les électrodes entre lesquelles éclate l'étincelle. Des expériences préliminaires, faites au laboratoire de M. Schuster, à Manchester, lui avaient montré, de plus, qu'on peut, en choisissant convenablement la self-induction, obtenir une augmentation d'intensité pour certaines raies, pendant que d'autres s'affaiblissent sensiblement ou même disparaissent complètement. C'est dans cet ordre d'idées qu'ont été poursuivies ses nouvelles recherches sur un certain nombre de spectres provenant de différents métaux et de gaz.

L'identification des raies a été faite par la méthode photographique ; elle a porté sur des radiations dont les longueurs d'onde sont comprises entre $\lambda = 5900$ et $\lambda = 3400$. L'étincelle oscillante était produite par la décharge de trois bouteilles de Leyde en dérivation sur le secondaire d'une bobine de Ruhmkorff de 25 cm de distance explosive et par l'insertion d'une self-induction variant entre 0,00012 et 0,0038 henrys. On projetait sur la même plaque photographique deux spectres, l'un avec l'autre sans self-induction, et on les plaçait l'un au-dessus de l'autre à l'aide de l'écran de Lockyer. On mesurait les distances entre les raies l'aide à d'une machine à diviser, et l'on convertissait ces distances en longueurs d'onde à l'aide d'une courbe fondée sur la fréquence des oscillations.

« En examinant sur une de ces plaques photographiques le couple de spectres obtenu comme nous venons de le dire, on est frappé de l'absence complète des raies de l'air dans le spectre de l'étincelle oscillante, et de la netteté des raies caractéristiques du métal employé comme électrodes. On peut cependant, en exagérant beaucoup le temps de pose (de une à deux heures) et en employant une self-induction de 0,0038 henrys environ, faire apparaitre dans le spectre de la décharge oscillante les bandes cannelées de l'azote (qui proviennent de l'air).

» Ce fait pourrait s'expliquer par l'abaissement de la température de l'étincelle, abaissement dû à l'insertion de la self-induction. Dans les mêmes conditions, les raies de l'oxygène ne sont pas visibles. En examinant attentivement les raies qui sont influencées par l'insertion de la self-induction, on remarque, en effet, que les raies appelées *courtes*, ou de haute température, sont celles qui s'affaiblissent ou même disparaissent, tandis que les raies appelées *longues*, ou de basse température (qui apparaissent surtout dans le spectre de l'arc), ou bien ne changent pas d'aspect ou bien deviennent plus vives et plus nettes en même temps. Un autre fait, qui confirme l'hypothèse qui précède, est l'apparition, dans le spectre, de l'étincelle oscillante, des raies qui n'étaient pas visibles en employant l'étincelle ordinaire et qui ne sont visibles que dans l'arc. Il semble donc y avoir là un moyen convenable pour étudier les spectres à des températures intermédiaires entre celles produites par l'arc et par l'étincelle ordinaire (en faisant varier la self-induction). Un autre fait assez remarquable, dû toujours au caractère oscillatoire de l'étincelle, est l'apparition des raies provenant des impuretés qui se trouvent dans le métal employé comme électrodes, raies invisibles si l'on emploie l'étincelle ordinaire. »

L'influence de la décharge oscillante sur les raies de haute et de basse température, est mise en évidence par le Tableau suivant, qui donne les intensités relatives des lignes les plus caractéristiques du bismuth.

Dans ce tableau, les lettres qui accompagnent les chiffres exprimant les intensités des raies ont la signification suivante :

c = continu,
d = discontinu.
n = nébuleux.

λ Rowland.	Intensités relatives — Étincelle — ordinaire (temps de pose : 5 minutes).	avec une self de 0,00048 henrys (temps de pose : 5 minutes).	avec une self de 0,0038 henrys (temps de pose : 2 heures).	Arc.
5552,4	2	7	8	8
5271,1	7	0	0	0
5209,2	10 *c*	3 *d*	2 *d*	0
5144,5	9 *c*	1 *d*	1 *d*	0
4722,7	8 *c*	12 *c*	15 *c*	10
4493,0	0	3	3	2
4308,7	0	8	9	4
4302,6	10 *n*	7 *n*	3 *d*	0
4259,8	12 *n*	9	4 *d*	0
4121,8	8	12	12	6
4085,2	8 *n*	5	2 *d*	0
3864,4	7 *n*	3 *n*	0	0
3816,5	3 *n*	1 *n*	0	0
3793,3	7 *nc*	5 *nc*	1 *d*	0
3596,3	1	4	5	4

Les intensités marquées 0 indiquent l'absence des lignes correspondantes.

En ce qui concerne les gaz, le spectre le plus caractéristique est celui de l'hydrogène. Pour ce gaz (sous la pression atmosphérique) les raies du spectre de la décharge oscillante deviennent nettes et la distance explosive n'influe pas sur la netteté des raies. En exagérant la pose (environ deux heures) et en employant une self-induction de 0,0038 henrys l'auteur a pu obtenir sur la plaque photographique des raies qui n'apparaissent qu'en employant les tubes de Geissler (où le gaz est raréfié). Voici du reste deux tableaux comparatifs entre les raies obtenues par l'auteur et celles obtenues par M. Ames en employant un tube de Geissler.

Étincelle oscillante — λ (Rowland).	Intensité.	Tube de Geissler (Ames) — λ (Rowland).	Intensité.
4633	2	4631,15	6
4583	2	4580,1	4
4535	1	4534,8	2
4213	1	4212,65	7
4200	1	4205,2	8
4174	1	4177,25	8
3896	1	3889,15	7

M. Hemsalech se propose de continuer ces recherches pour pouvoir préciser davantage cette influence de la décharge oscillante sur les spectres des différents métaux qu'il a eu l'occasion d'examiner.

Applications chirurgicales et médicales des rayons X. — Trois notes présentées à la séance de l'Académie des sciences du 17 juillet dernier, nous signalent quelques nouvelles applications de ce genre.

Dans une note intitulée « Régénérations osseuses suivies à l'aide de la radiographie » (*Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 174) M. Abel Buguet montre le parti que l'on peut tirer des rayons Rœntgen pour étudier les phases de la régénération osseuse particulièrement chez les animaux où cette régénération est aisée (tritons, axalatés, lézards). Les animaux ont été radiographiés éveillés, par des poses instantanées qui dispensent de toute anesthésie.

Le sujet de la seconde note, due à MM. Albarran et Contremoulin est la « Radiographie des calculs du rein ». Les auteurs ont pu reconnaître au moyen de la radiographie l'existence d'un calcul rénal chez un malade de l'hôpital Necker; ils donnent à ce propos quelques renseignements sur le mode opératoire qu'il convient d'adopter dans les recherches de ce genre : Il est indispensable que le malade soit en contact aussi complet que possible avec la plaque sensible sur toute la région dorsale ; à cet effet, les jambes sont repliées et maintenues dans cette position par un dispositif spécial. En second lieu, il importe de protéger la plaque des rayons X extérieurs ; on évite ainsi toute impression parasite due à la diffusion des rayons dans l'air et au halo, que donnent toujours les parties fortement impressionnées. Enfin le tube de Crookes doit être amené à l'état de vide où il va cesser d'être mou pour devenir dur ; s'il est dur, les rayons qu'il émet ont un grand pouvoir de pénétration mais il ne donne pas les contrastes nécessaires pour rendre visibles des détails tels que les calculs du rein ; d'autre part, s'il est mou, les rayons n'ont pas assez de pouvoir pénétrant pour traverser des épaisseurs telles que l'abdomen et donner des images nettes sans porter le temps de pose au delà des limites pratiques ; en maintenant le tube encore mou mais sur le point d'être dur, *pendant toute la durée de l'opération*, six à huit minutes suffisent pour un adulte.

Dans la troisième note « Radiographie du cœur et l'aorte aux différentes phases de la révolution cardiaque », M. H. Guilleminot donne la description d'un appareil stroboscopique permettant de

radiographier le mouvement du cœur, constamment à la même phase. L'auteur a également appliqué un dispositif semblable à la radiographie du thorax à différentes phases du mouvement respiratoire. Comme il est susceptible de s'appliquer à l'étude radiographique de tout organe animé d'un mouvement périodique nous croyons utile de reproduire la partie de la note où M. Guilleminot donne la description des diverses parties de son appareil :

1. *Générateur de mouvement uniforme.* — Une petite dynamo, marchant sous 10 volts environ, est actionnée par cinq accumulateurs. Dans son circuit se trouvent deux rhéostats, l'un que l'on règle avant l'expérience et l'autre qui constitue un régulateur automatique spécial assurant l'uniformité du mouvement pendant toute la durée de la séance. Ce régulateur se compose de deux spirales de fil en ferro-nickel, enroulées autour de deux tubes de verre. Chacun de ces tubes plonge dans une éprouvette de mercure. Ils sont réunis par un corps d'ébonite le long duquel se réunissent également les deux fils de ferro-nickel. On comprend que, à mesure que cet U renversé sort du mercure, la résistance augmente. Or, cet appareil est supporté par un régulateur à boules, de sorte que plus le mouvement devient rapide, plus la résistance devient grande. Quel que soit l'obstacle rencontré du côté de l'appareil déclencheur variable, comme nous le verrons, la régularité du système se trouve ainsi assurée.

Cet appareil anime d'un mouvement uniforme un axe que nous appellerons AB et lui imprime environ 60 tours à la minute.

2. *Régulateur facultatif de vitesse.* — Cette deuxième partie a pour but de transmettre le mouvement de l'axe AB tournant uniformément à 60 tours à un deuxième axe A'B' avec un rapport de vitesse angulaire de $\frac{1}{3}$ à 3. On peut ainsi animer l'axe A'B' d'une vitesse de 20 à 180 tours à la minute, établie une fois pour toute avant l'expérience. A cet effet, chacun de ces axes parallèles supporte un cône de transmission tourné en sens inverse, et la poulie de transmission qui les unit peut glisser d'un bout à l'autre, grâce à un châssis qui l'entraine et qui lui-même se déplace sur une vis de réglage.

3. *Appareil déclencheur.* — Le deuxième axe A'B' supporte à l'une de ses extrémités un cylindre concentrique qu'il entraine à frottement doux dans son mouvement, de telle sorte que, si l'on arrête le cylindre, l'axe continue son mouvement uniforme. Malgré la résistance plus grande, l'uniformité du mouvement est assurée par le régulateur automatique.

Ce cylindre porte un arrêt qui vient buter contre un clenchet relié au pulsomètre.

Le clenchet se soulève, grâce à un électro-aimant qui devient actif lors de la pulsation radiale.

4. *Ferme-circuit de l'inducteur des rayons X.* — D'autre part, le cylindre du déclencheur porte un ferme-circuit, U renversé, qui plonge dans deux cupules de mercure. En unissant ces deux cupules, on ferme le circuit de l'inducteur des rayons X. Ce ferme-circuit peut se fixer à tel degré de la circonférence du cylindre qu'on le juge à propos de 1 à 360 à partir de la position d'arrêt du clenchet.

Ce dispositif permet ainsi de fermer le circuit des rayons X à un moment quelconque de la révolution cardiaque et pendant un temps quelconque, le temps que l'U ferme-circuit plonge dans le mercure.

5. *Pulsomètre.* — Il se compose du sphygmographe de Marey dont on a enlevé le mouvement et le levier.

A la place du mouvement se trouve une cupule de mercure en relation avec le pôle + d'un accumulateur.

A la place du levier on a mis une tige légère d'aluminium à l'extrémité de laquelle est soudé un fil de platine qui vient plonger dans le mercure. Cette tige est en relation électrique par les pivots avec la masse du pulsomètre qui est relié à l'électro-aimant de l'appareil déclencheur.

L'autre fil de l'électro-aimant du déclencheur communique avec le pôle négatif de l'accumulateur, de sorte que le circuit est fermé quand le fil de platine plonge dans le mercure ; il est ouvert quand la pulsation radiale l'en fait sortir.

Le pulsomètre étant mis au point une fois pour toutes avant l'expérience, on corrige l'état de tension plus ou moins grande des tendons du poignet en tenant la main du sujet dans la main droite, la main gauche supportant le poignet. L'opérateur n'a d'ailleurs qu'à surveiller le pulsomètre, le reste de l'appareil ne demande aucun soin au cours de l'expérience.

Le fonctionnement de l'appareil est facile à comprendre. On règle la vitesse de l'axe A'B' de telle sorte qu'elle soit un peu supérieure à celle de la révolution cardiaque, 80 tours pour 70 pulsations. Il y a ainsi un contact du clenchet contre l'arrêt du cylindre de $\frac{1}{10}$ de seconde environ, ce qui suffit pour établir le synchronisme du 0 de la révolution du cylindre avec le moment de la pulsation radiale.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XX. Samedi 2 Septembre 1899 6e Année. — N° 35.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LES DIAGRAMMES DE COUPLAGE DE DEUX ALTERNATEURS EN PARALLÈLE

L'étude du couplage des alternateurs a été faite magistralement il y a quelques années par M. Blondel [1], aussi notre intention n'est-elle nullement de reprendre cette étude même sous une autre forme. Nous voulons simplement étudier un cas particulier assez intéressant en pratique et laissé de côté par M. Blondel. Ce savant s'est en effet attaché uniquement au problème suivant, de beaucoup le plus important du fonctionnement en parallèle de deux alternateurs :

Étant donné deux alternateurs identiques et ayant des excitations constantes et par suite des forces électromotrices fixes, comment varient les puissances et partant la tension aux bornes et les courants, lorsque l'angle de décalage des deux forces électromotrices induites varie pour une cause quelconque, en admettant que les moteurs conduisant les alternateurs, si ceux-ci sont commandés par des moteurs séparés, n'astreignent pas ceux-ci à fournir une puissance déterminée indépendante des conditions d'excitation des deux alternateurs.

Le diagramme donné par M. Blondel pour l'étude de ce problème donne toute satisfaction et permet la représentation des puissances, pour un décalage quelconque des forces électromotrices induites, à l'aide de cercles.

Dans ce problème la tension aux bornes ne reste pas constante et diminue évidemment lorsque le décalage des forces électromotrices induites augmente. Or en pratique, lorsque deux alternateurs fonctionnent en parallèle sur un réseau il importe de maintenir la tension aux bornes aussi constante que possible. Il n'est donc pas sans intérêt d'étudier le problème suivant qui complète la théorie de M. Blondel :

Étant donné deux alternateurs en parallèle, comment varient les tensions induites, les courants et les puissances, lorsqu'on maintient

[1] Voir *Lumière Électrique*, t. XLV, p. 351 et t. XLVI, p. 151, 1882.

la différence de potentiel constante aux bornes du réseau en faisant varier un des éléments, tensions, courants ou puissances.

Tel est le problème que nous nous proposons de résoudre graphiquement, non seulement dans le cas de deux alternateurs égaux ou dont les résistances intérieures sont négligeables, mais encore dans le cas général de deux alternateurs absolument quelconques.

Deux cas particuliers assez intéressants seront plus spécialement à signaler, ce sont celui qui correspond à la mise en parallèle de deux alternateurs dont l'un a une certaine charge ou est à vide, l'autre étant en charge, et celui où les alternateurs sont commandés par des moteurs séparés et dont les régulateurs sont tels que les charges dépendent uniquement de la position de ces régulateurs comme cela a lieu presque toujours en pratique.

Considérons le cas où les deux alternateurs sont identiques comme type et comme puissance et admettons d'abord que leur résistance intérieure r soit négligeable devant leur inductance $\frac{2\pi}{T} l$ ou ωl.

Soient :

R la résistance du circuit d'utilisation sur lequel travaillent les deux alternateurs ;

L le coefficient de self-induction de ce circuit ;

Cos φ le facteur de puissance de ce circuit, avec la relation connue :

$$\text{tang}\ \varphi = \frac{\omega L}{R};$$

U la différence de potentiel aux bornes de ce circuit.

I le courant :

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

absorbé par le circuit ;

I_1 et I_2 les courants fournis par chacun des alternateurs A_1 et A_2. On a évidemment :

$$I = I_1 + I_2$$

Pour établir le diagramme des tensions des courants et des puissances des deux alternateurs, nous opérerons d'une façon un peu différente de celle de M. Blondel dans le travail cité plus haut, mais analogue à celle suivie par le même auteur dans son épure bipolaire des moteurs synchrones [1]. Nous construirons le triangle OAB (fig. 1) des tensions du circuit d'utilisation ; OA représentera la différence de potentiel U aux bornes du circuit ou des alternateurs, OB la chute de potentiel ohmique dans le réseau et BA la force contre-électromotrice de self-induction.

Donnons-nous maintenant l'un des courants en grandeur et en phase, par exemple I_1, le diagramme des tensions induites et des courants est alors complètement déterminé.

Le vecteur OC représentant à une échelle convenable le courant de l'alternateur A_1, le courant de l'alternateur A_2 sera représenté à la même échelle par le vecteur CB ou OD différence géométrique entre les vecteurs OB et OC.

Ayant la direction des courants de chaque alternateur et leur valeur efficace, il est facile de construire le polygone des tensions de chaque alternateur. Pour l'alternateur A_1 en particulier, il suffit de mener par le point A un vecteur AA_1, perpendiculaire à OC et ayant pour valeur $\omega l I_1$, puis de joindre OA_1, ce vecteur représente en grandeur et en phase la force électromotrice induite dans l'alternateur A_1. De même OA_2 sera la force électromotrice induite dans l'alternateur A_2.

Ceci posé, joignons A_1A_2, puis le point milieu de ce vecteur K au point A et au point O. Le vecteur AK a pour valeur $\frac{1}{2}\omega l (I_1 + I_2)$ ou $\frac{1}{2}\omega l I$, il est donc évidemment de même phase que BA ou ωLI et de plus constant pour un même débit extérieur quels que soient les débits de chaque alternateur. Il résulte de là que le point K reste fixe pour un débit extérieur constant et qu'il en est de

[1] Voir Théorie des moteurs synchrones. Lahure, éditeur, Paris ; et notre article sur « les moteurs synchrones et la théorie de M. Blondel », *Éclairage Électrique*, t. III, p. 436, 1895.

même du triangle OKB. Cette propriété sera utilisée plus loin.

Le vecteur OK n'est autre que la demi-somme géométrique des forces électromotrices induites dans les alternateurs, demi-somme qui est également constante pour un travail constant du réseau. Il est bon de remarquer que les vecteurs AA_1 et AA_2 représentent à une échelle convenable, mais différente de la première, les courants des deux alternateurs. Toutefois les phases de ces deux courants sont déplacées chacune d'un quart d'onde. La puissance de l'alternateur A_1 est égale à :

$$P_1 = UI_1 \cos \varphi_1$$

elle est donc proportionnelle aux projections de OC sur U ou de AA_1 sur la perpendiculaire AX à AO.

De même pour la puissance du second alternateur.

Les courants pouvant être représentés par les vecteurs AA_1 et AA_2 on peut supprimer

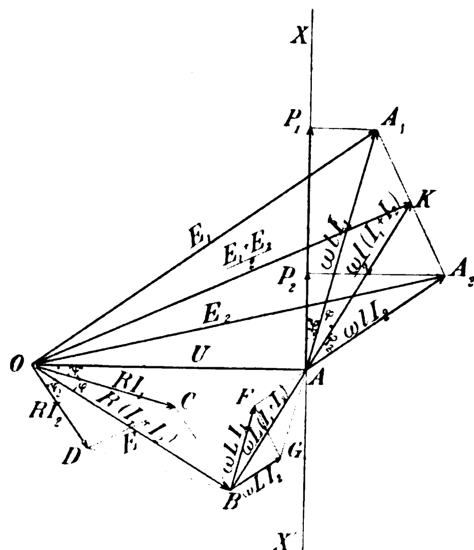


Fig. 1.

sans inconvénient la partie inférieure de la figure 1. Le diagramme des tensions et des courants pour une puissance donnée fournie au réseau se réduit donc à celui de la figure 2 que, pour plus de comparaison avec le diagramme de M. Blondel, nous avons fait tourner de 90° dans le sens des aiguilles d'une montre.

Ce diagramme est très commode pour l'étude de la variation des éléments : courants.

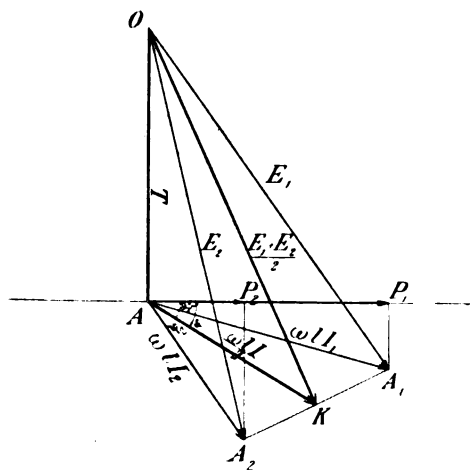


Fig. 2.

tensions et puissances lorsque l'on se donne l'une des tensions ou l'un des courants.

D'une façon générale, il montre que si l'on connaît par exemple la loi de variation de l'une des tensions en grandeur et phase, c'est-à-dire le lieu de l'extrémité du vecteur tension E_1, le lieu des extrémités du vecteur tension E_2 est symétrique du premier par rapport au point K, qui, nous l'avons vu, est un point fixe pour une charge déterminée du réseau.

Pour application, nous examinerons seulement le cas simple et particulièrement intéressant au point de vue pratique, de la mise en parallèle de deux alternateurs, l'un fonctionnant déjà sur un réseau et l'autre étant à vide.

Nous supposerons que l'on laisse fixe la tension de l'alternateur en charge et qu'on fasse varier la tension du second à l'aide de son excitation, conjointement, s'il y a lieu, avec l'appareil de réglage de l'admission du moteur : régulateur, vanne ou papillon, de façon à amener une répartition déterminée des charges. L'épure de couplage est alors celle de la figure 3.

La force électromotrice induite de l'alternateur A_1 étant laissée constante, le lieu du point A_1 est un cercle ayant pour centre le point O. Le point K sera le milieu de AJ égal à $\omega l I$, le lieu de l'extrémité du vecteur représentant la force électromotrice induite dans l'alternateur A_2 et celui de l'extrémité du vecteur représentant le courant I_2 seront les mêmes, et ce lieu sera le cercle de centre O_1 symétrique du centre O du premier par rapport au point K.

Il est facile de distinguer sur les deux cercles les portions qui correspondent, à ce régime, à la marche en générateur ou en moteur de chacun des alternateurs ainsi que le point où la puissance de l'un ou l'autre des alternateurs s'annule.

Les puissances sont en effet positives ou

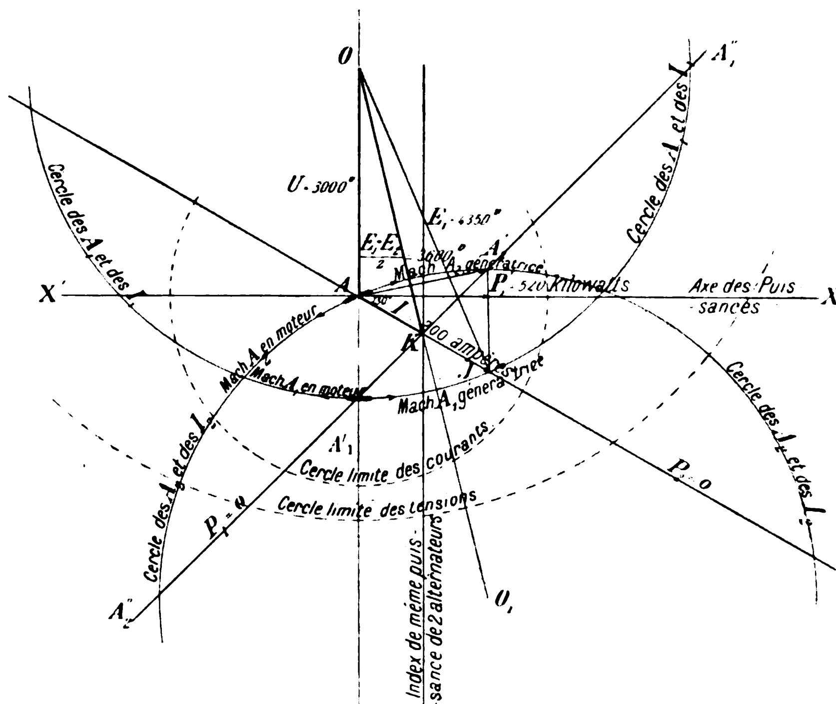


Fig. 3. — Épure de couplage de deux alternateurs égaux à résistance intérieure négligeable.

négatives suivant qu'elles sont comptées dans le sens AX dirigé vers la droite ou dans le sens AX′ dirigé vers la gauche. Ces puissances négatives correspondant au cas où l'un des alternateurs fonctionne comme moteur, la partie du diagramme à gauche de OA n'est à considérer que si les deux alternateurs sont commandés par une même transmission, ou s'il s'agit d'un transport de force. L'index de chaque régime étant représenté par une droite passant par K, celui correspondant à une puissance nulle débitée par l'alternateur A_1 est évidemment celui joignant le point K au point A'_1 où OA prolongée rencontre le cercle des A_1. Il existe une seconde position de A_1 pour laquelle la puissance de l'alternateur A_1 est nulle, mais elle correspond à une excitation exagérée de l'alternateur A_1, aussi ce point n'est-il pas représenté sur la figure 3.

La puissance de l'alternateur A_2 est nulle lorsque le point A_2 est en A, l'index du régime est alors AK. Le second point où la puissance de l'alternateur A_2 est nulle correspond aussi à une tension non obtenable en pratique dans cet alternateur, l'index correspondant n'est pas représenté non plus sur la figure.

Nous avons tracé également sur la figure 3 la ligne d'égale puissance des deux alternateurs. Les lignes de puissances constantes

sont évidemment des perpendiculaires à l'axe XX'.

La figure 3 correspond au cas de deux alternateurs à 3000 volts fournissant une puissance apparente de 600 kilowatts avec un décalage de 30°, c'est-à-dire un $\cos \varphi$ de 0,866.

Il est intéressant de remarquer que dans le diagramme actuel, grâce à la possibilité admise de la variation de l'excitation de l'un des alternateurs au moins, il n'y a plus, comme dans le diagramme de M. Blondel, d'angle théorique de phase limite de décrochage, et par suite de région d'instabilité ; la puissance P_2 décroît en valeur absolue à partir du point A''_2 lorsque l'index passe par le point A''_1 correspondant au maximum de P_1.

Ceci est bien entendu une considération uniquement théorique car en pratique les forces électromotrices induites ne peuvent pas dépasser une certaine limite déterminée par le courant maximum d'excitation.

Si l'on avait supposé que les deux alternateurs avant leur mise en parallèle avaient déjà tous deux une certaine charge, on aurait eu un diagramme analogue, le triangle OAB correspondant au réseau total ; mais dans ce cas le cercle des A_2 ne passerait plus par le point A.

On complètera utilement le diagramme en traçant du point O comme centre un cercle dont le rayon sera égal à la force électromotrice induite efficace maxima qui permet d'obtenir la limite supérieure du courant d'excitation et du point A comme centre un second cercle correspondant au courant efficace (le rayon étant le produit de ce courant par l'inductance de l'alternateur) maximum que l'induit de chaque alternateur peut supporter sans danger. Enfin il sera bon d'indiquer sur l'axe OX le point P_m correspondant à la puissance maxima qu'on peut utiliser sur l'alternateur, puissance dépendant de celle du moteur conduisant l'alternateur.

Un second problème, également intéressant au point de vue pratique, est le suivant :

On sait que lorsque deux alternateurs sont commandés par des moteurs séparés dont les régulateurs ne sont pas parfaitement isochrones, par exemple par des moteurs ayant une certaine chute de vitesse avec la charge, les puissances données par les alternateurs dépendent uniquement du degré d'admission de chaque moteur ([1]).

La variation des courants d'excitation sur ces machines a alors seulement pour objet de faire varier la différence de phase entre les deux forces électromotrices induites et doit par suite être uniquement employée pour amener le courant local traversant les deux alternateurs à être minimum.

On peut donc se proposer de rechercher comment varient les tensions induites et leur angle dans le cas où les puissances fournies par les alternateurs sont les mêmes ; rien n'est plus facile avec notre diagramme, aussi n'insisterons-nous pas davantage sur ce sujet.

Le diagramme précédent n'aurait qu'un intérêt assez médiocre s'il n'était applicable qu'aux alternateurs à résistance intérieure négligeable, bien que cela soit le cas de la plupart des alternateurs, même modernes. Mais ce diagramme est à peine plus compliqué lorsque l'on tient compte de la résistance intérieure des alternateurs.

Reprenons le triangle OAB des tensions correspondant à la charge du réseau et donnons-nous toujours l'une des intensités ou du moins la quantité RI_1 en grandeur et en phase, RI_2 est déterminé (fig. 4).

Pour construire le polygone des tensions de l'un des alternateurs A_1 par exemple, nous devons par le point A mener un vecteur AM parallèle à RI_1 et égal à rI_1, puis par le point M le vecteur MA_1 perpendiculaire au premier et égal à $\omega l I_1$, OA_1 est la force électromotrice induite dans l'alternateur A_1. De même OA_2 sera la force électromotrice induite dans l'alternateur A_2.

([1]) Voir l'article de M. Woodbridge sur le « fonctionnement des alternateurs en parallèle » *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 468, 1897.

Joignons encore A_1A_2 et le milieu de ce vecteur aux points O et A. AK étant égal ici à $\left(\frac{I_1+I_2}{2}\right)\sqrt{r^2+\omega^2 l^2}$ ou à $\frac{1}{2}\,I\sqrt{r^2+\omega^2 l^2}$, est encore constant en grandeur et direction

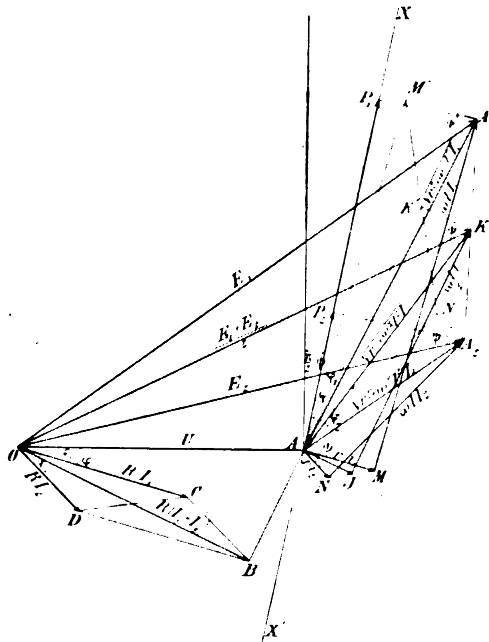


Fig. 4.

pour une charge déterminée du réseau ; le point K est donc encore un point fixe.

Pour construire les polygones des tensions on aurait pu d'abord porter à partir du point A les vecteurs perpendiculaires aux courants et égaux à $\omega l I_1$ et $\omega l I_2$, puis les vecteurs rI_1 et rI_2. Si l'on joint les points M' et N' puis le milieu K' de ce vecteur en A, le vecteur AK' est égal à $\frac{\omega l}{2}(I_1+I_2)$ ou $\frac{\omega l I}{2}$; c'est donc encore un vecteur fixe et sur le prolongement de AB. Le rectangle AK'KJ dont les côtés ont pour valeur $\frac{\omega l}{2}I$ et $\frac{r}{2}I$ est donc invariable pour une charge déterminée du réseau.

On peut prendre pour représenter les intensités en grandeur et en phase soit les diagonales AA_1 et AA_2, soit les côtés AM', AN' des rectangles $AM'A_1M$, $AN'A_2N$.

Les diagonales sont évidemment préférables puisque avec elles les vecteurs représentant la tension et le courant dans un même alternateur, ont leur extrémité variable commune.

Si l'on adopte les diagonales, l'axe des puissances ne sera plus perpendiculaire à la tension aux bornes U ou OA, mais incliné sur cette perpendiculaire et vers la gauche d'un angle égal à $\frac{\pi}{2}-\psi$, tang ψ étant comme le module commun des alternateurs. Ce sera là la seule différence avec le diagramme correspondant au cas où les résistances intérieures sont négligeables.

Si l'on préférait conserver comme vecteurs représentatifs des courants les vecteurs AM', AN', les lieux des points M' et N' seraient des courbes semblables aux lieux des points A_1 et A_2 et s'en déduiraient facilement, comme nous allons le voir plus loin en traitant le cas général de deux alternateurs quelconques.

Comme dans le cas où les résistances intérieures sont négligeables, on peut donc encore supprimer la partie inférieure de la figure, c'est-à-dire le triangle OAB et les vecteurs représentant les chutes ohmiques RI_1 et RI_2.

Arrivons finalement au cas de deux alternateurs quelconques, le diagramme est alors un peu plus compliqué, mais la propriété que les extrémités des vecteurs représentatifs des courants et des tensions décrivent des courbes semblables se conservent.

Considérons toujours le triangle OAB et donnons-nous encore l'un des courants en grandeur et direction, puis déduisons encore l'autre par différence géométrique de OB et de OC (fig. 5).

Construisons le polygone de tensions de l'alternateur A_1, pour cela nous porterons d'abord à partir du point A sur une parallèle à RI_1 une longueur égale à $r_1 I_1$. La détermination de cette longueur sera facilitée si l'on a déterminé une fois pour toutes, sur OA prolongé, le point Q_1 tel que :

$$\frac{Q_1A}{Q_1O}=\frac{r_1}{R}.$$

A partir du point M il reste à porter sur une perpendiculaire à AM une longueur A_1M égale à $\omega l_1 I_1$ pour avoir en OA_1 la force électromotrice induite dans l'alternateur A_1.

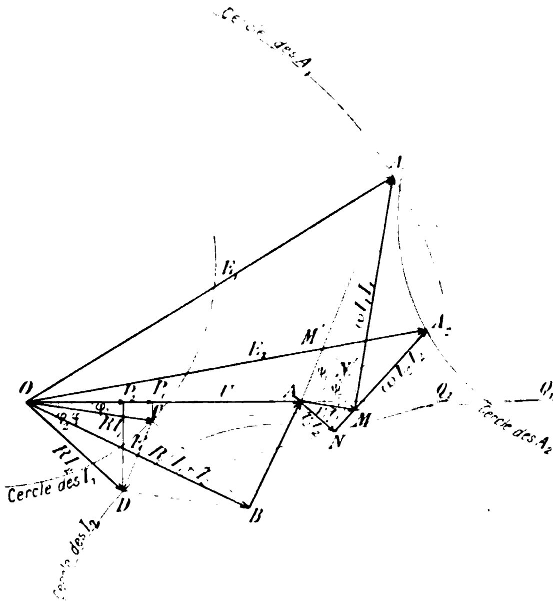


Fig. 5.

De même pour l'alternateur A_2, le vecteur OA_2 représente la tension induite lorsque le courant dans l'alternateur est I_2.

Les vecteurs AA_1 et AA_2 peuvent encore bien représenter les intensités I_1 et I_2, mais seulement en grandeur et avec des échelles différentes. Il y a donc lieu de renoncer ici à cette simplification et de conserver les vecteurs OC et OD pour représenter les courants. Les puissances s'en déduisent facilement par projection de ces vecteurs sur OA.

Il est facile de montrer que si l'un des quatre points A_1, A_2, D, C décrit une certaine courbe, les trois autres décrivent des courbes semblables faciles à construire.

Supposons en effet que la tension E_1 reste constante en grandeur, le lieu des A_1 est encore un cercle de centre O. Le lieu du point M′ situé sur le vecteur AA_1 à une distance telle que :

$$AM' = AM = r_1 I_1$$

ou telle que

$$\frac{AM'}{AA_1} = \frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 + \omega^2 l_1^2}}$$

est évidemment un cercle homothétique du premier par rapport au point A et qu'il est facile de construire.

Le lieu du point M ne sera autre que le

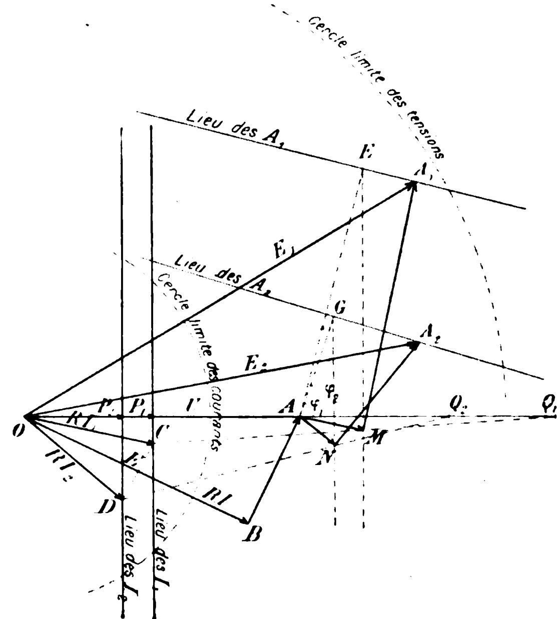


Fig. 6. — Epure de couplage de deux alternateurs quelconques et à puissances constantes.

lieu du point M′ qu'on aura fait tourner autour du point A d'un angle égal à ψ_1, ψ_1 étant donné par :

$$\text{tang}\, \psi_1 = \frac{\omega l_1}{r_1}.$$

Connaissant la courbe lieu du point M, celle du point C sera la figure homothétique de la première par rapport au point Q_1.

Pour avoir le lieu du point D il suffira de prendre le cercle symétrique du cercle lieu du point C par rapport au point E. Connaissant ce lieu on en déduira d'abord celui du point N homothétique du premier par rapport au point Q_2, puis celui du point N′ qui n'est autre que le précédent qu'on a fait tourner d'un angle ψ_2, ψ_2 étant donné par :

$$\text{tang}\, \psi_2 = \frac{\omega l_2}{r_2},$$

et enfin celui du point A_2, homothétique de celui du point N′ par rapport au point A, le rapport d'homothétie étant :

$$\frac{AN'}{AN} = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + \omega^2 l_2^2}}.$$

Comme application de ce cas général, considérons le cas où la puissance sur chacun des alternateurs reste invariable et où l'on fait varier les excitations des deux machines de façon à avoir toujours une tension constante aux bornes communes des deux alternateurs.

Dans ce cas, les lieux des points C et D sont des droites perpendiculaires à OA. On en déduit immédiatement par la connaissance des centres d'homothétie Q_1 et Q_2 les perpendiculaires à OA lieu des points N et M.

Si l'on construit avec ces droites comme côté les triangles rectangles dont les angles en A sont égaux respectivement à ψ_1 et ψ_2, les lieux des points A_1 et A_2 seront évidemment les droites perpendiculaires aux hypothénuses AF et AG.

On pourra comme plus haut compléter ce diagramme en traçant les cercles limites des tensions et des courants.

C.-F. Guilbert.

DÉTERMINATION DIRECTE D'UN KILOHM ABSOLU [1]

V. — Mesure magnétique de la section de la bobine.

Mesure magnétique de la section de la bobine. — La bobine que j'ai utilisée étant de faible diamètre, les inégalités que présentent le fil, sa couverture et l'enroulement, perturbent la mesure géométrique. La tension d'enroulement et le gomme-laquage destiné à assurer l'isolement, modifiant d'autre part le diamètre total du fil, que doit-on retrancher du diamètre extérieur de la bobine pour obtenir son diamètre théorique?

Ces considérations m'ont contraint à mesurer par voie magnétique la section de la bobine théorique équivalente à la bobine donnée. Les résultats obtenus fournissent en outre des indications précieuses sur l'isolement des spires.

Si on employait une bobine cylindrique de diamètre convenable, à noyau bien isolant, portant un fil nu et relativement fin, étudié après l'enroulement, ces mesures auxiliaires seraient moins nécessaires mais demeureraient utiles comme critérium de la perfection de la bobine.

Surface étalon. — Le noyau du cerceau qui m'a servi d'étalon (fig. 9) a été obtenu en superposant plusieurs disques de bois *p* de même rayon assemblés à fibres croisées. Le système est allégé par de larges percées circulaires *c* et par l'ouverture centrale qui permet de l'enfiler sur un support convenable. Le disque de bois est serré par un cercle plat en laiton d'environ 61 cm de diamètre sur le filet duquel s'enroulent 40 spires. Les extrémités du fil sont reliées à deux bornes voisines. Les spires sont faciles à compter au moyen d'un microscope de faible puissance ou à la lunette.

Mesure du diamètre du cerceau auxiliaire. — J'ai mesuré le diamètre du cerceau suivant dix azimuths, c'est-à-dire de 36° en 36°. Je me suis servi d'un cathétomètre à deux lunettes munies de microscopes à réticules micrométriques.

L'échelle, en forme d'H, portant une graduation sur argent, est installée verticalement sur son support et près du cerceau dont le

[1] *L'Éclairage Électrique* des 5, 12 et 26 août, p. 161, 212, 288.

plan est également vertical. Le cathétomètre étant réglé et les lunettes disposées de façon à pouvoir viser tangentiellement le cerceau, on cherche, en répétant les pointés, à déter-

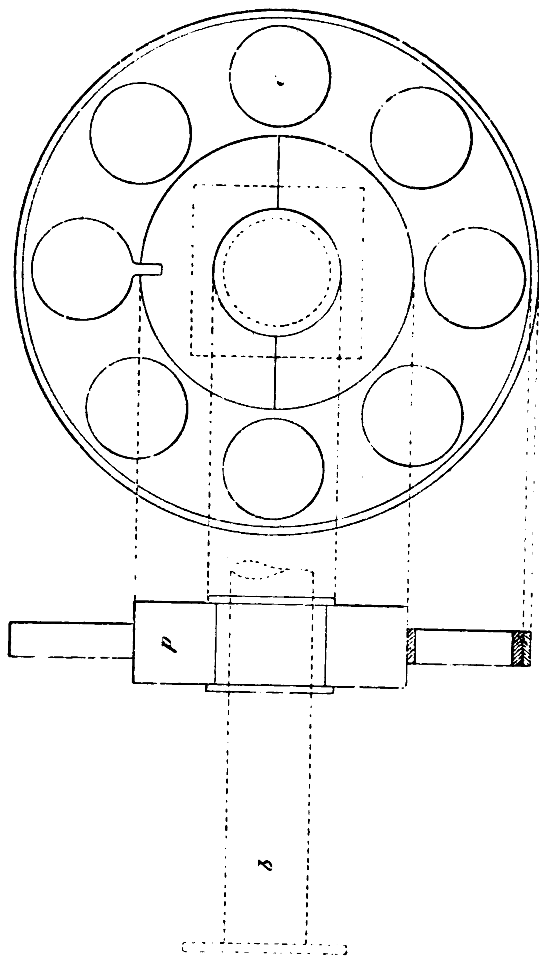


Fig. 9.

miner la position des fils horizontaux fixes des réticules par rapport aux divisions les plus voisines de la règle. La mesure est effectuée au moyen de dix pointés au réticule horizontal mobile. Des vingt pointés on a déduit que le réticule supérieur était à 1 tour 0689 de la division 14 mm, cette division de la règle étant au-dessus du réticule. Le tarage du micromètre préalablement effectué permet de transformer les tours en mm, soit 0,735195 mm.

En résumé, le réticule supérieur correspond à

1,47352 cm.

Dix pointés, après le tarage du micromètre inférieur, ont donné pour la position du réticule fixe de la station inférieure

62,2482 cm.

La distance des deux réticules fixes est donc de 60,7740 cm de la règle de la Société génevoise de construction.

Cette mesure répétée plusieurs fois a donné comme moyenne :

$$\overline{RR'} = 60,7726.$$

La distance δ de l'extrémité supérieure des diamètres 11, 22, ..., etc., à R (réticule fixe supérieur) et celle δ' de l'extrémité inférieure au réticule inférieur R' ont été estimées par 10 pointés.

On a

$$n_1 n = \overline{RR'} + \delta' - \delta.$$

Les valeurs obtenues pour $\delta' - \delta$ sont pour les dix diamètres :

+ 1,0212 mm	+ 1,0277
+ 0,5539 »	+ 0,5402
— 0,1034 »	— 0,2382
— 0,0016 »	— 0,5920
+ 0,3283 »	+ 0,4411

Moyenne $\delta' - \delta = 0,19772$ mm.
Diamètre moyen extérieur = 60,7924.
Diamètre du fil enroulé = 0,4815 mm.

En comparant la règle du cathétomètre à l'étalon international (copie β), j'ai trouvé pour le module de conversion 1,000494, donc

D = 60,7743 cm internationaux.

On peut comparer les surfaces de la bobine et du cerceau de diverses façons. Les méthodes les plus immédiates et les plus simples sont fondées sur les propriétés du champ magnétique uniforme. Lorsque le système bobine-cerceau est lourd, il n'est pas possible, à moins de compenser le poids par une force opposée, de le suspendre à un fil de torsion délicat dans le but d'équilibrer l'un par l'autre les deux couples que le champ

***

magnétique uniforme exerce sur lui. Il est plus facile d'équilibrer l'un par l'autre au balistique, les effets d'induction dus par exemple au retournement face pour face du

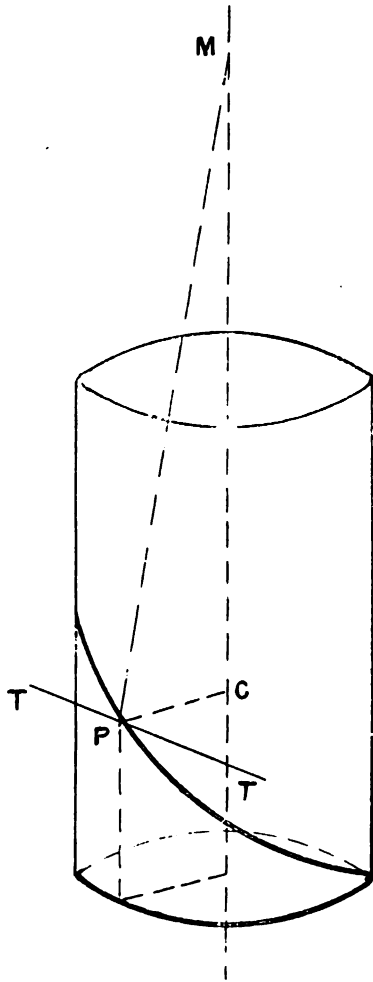


Fig. 10.

système monté comme l'indique la figure 9. J'ai rejeté la méthode des oscillations et celle des déviations observées dans un champ résultant du champ extérieur et d'une fonction des champs H_b et H_c.

Désirant éviter l'enroulement correcteur et l'intervention effective d'un champ extérieur, j'ai cherché à équilibrer les champs H_b et H_c produits en un point de leur axe par la bobine et par le cerceau.

Dans cet ordre d'idées, le calcul des champs H_b et H_c devient indispensable.

Calcul du champ produit par une hélice en un point de son axe. — Il semble que le calcul classique du champ en un point de l'axe d'une bobine convient seulement au cas où le circuit se réduit à un système de circonférences parallèles et jointives. Il est aussi facile de supposer que le circuit est constitué par une hélice de pas h et de rayon R. Les coordonnées d'un point de l'hélice sont

$$x = R\cos\omega, \qquad y = R\sin\omega, \qquad z = \frac{h}{2\pi}\,\omega,$$

l'élément d'arc d'hélice ds est donc tel que

$$ds^2 = \left(R^2 + \frac{h^2}{4\pi^2}\right)d\omega.$$

Il peut être considéré comme la somme géométrique de l'élément d'arc circulaire $d\sigma = R d\omega$ et de l'élément d'arc parallèle aux génératrices $d\sigma' = \frac{h}{2\pi}\,d\omega$. Calculons d'abord le champ suivant l'axe du cylindre dû aux éléments $d\sigma$ parcourus par le courant unité. L'élément de courant $d\sigma$ produit en M (fig. 10) l'action $\frac{d\sigma}{r2}$ perpendiculaire au plan MTT'. La composante suivant l'axe de la bobine a pour mesure :

$$dZ = \frac{d\sigma}{r^2}\cdot\sin\beta = \frac{R^2 d\omega}{r^3},$$

r mesure la distance PM et β désigne l'angle PMC. En appelant d la distance du point M au plan moyen de la spire on a,

$$r^2 = R^2 + \left(d + \frac{h}{2} - z\right)^2,$$

donc

$$dZ = \frac{R^2 d\omega}{\sqrt{\left[R^2 + \left(d + \frac{h}{2} - z\right)^2\right]^3}}$$

$$= R^2 \frac{d\omega}{\sqrt{\left[R_2 + \left(d + \frac{h}{2} - \frac{h}{2\pi}\,\omega\right)^2\right]^3}}$$

En posant $v = d + \frac{h}{2} - \frac{h}{2\pi}\,\omega$ et inté-

grant, il vient

$$Z = -\frac{2\pi}{h}\left[\frac{\nu}{(R^2+\nu^2)^{\frac{1}{2}}}\right]_{\nu_0}^{\nu_1}. \qquad (1)$$

Il est facile de construire une courbe de coordonnées polaires Z et ω, fournissant par la variation $Z_1 - Z_0$ du rayon vecteur le champ cherché ; mais on peut obtenir une formule très simple relative au champ Z pour un nombre n de spires. En intégrant (1) pour une spire, il vient

$$Z = -\frac{2\pi}{h}\left[\frac{d-\frac{h}{2}}{\sqrt{R^2+\left(d-\frac{h}{2}\right)^2}} - \frac{d+\frac{h}{2}}{\sqrt{R^2+\left(d+\frac{h}{2}\right)^2}}\right]. \qquad (2)$$

Joignons le point M aux points P_0 et P_1 extrémités de la spire et soient V_0 et V_1 les angles en M ainsi formés

$$\cos V_0 = \frac{d+\frac{h}{2}}{\sqrt{\left(d+\frac{h}{2}\right)^2+R^2}};$$

$$\cos V_1 = \frac{d-\frac{h}{2}}{\sqrt{\left(d-\frac{h}{2}\right)^2+R^2}}$$

par suite, pour la première spire

$$Z_1 = -\frac{2\pi}{h}[\cos V_1 - \cos V_0].$$

Les spires suivantes fournissent les champs :

$$Z_2 = -\frac{2\pi}{h}[\cos V_2 - \cos V_1]$$

$$Z_3 = -\frac{2\pi}{h}[\cos V_3 - \cos V_2]$$

. . . .

$$Z_n = -\frac{2\pi}{h}[\cos V_n - \cos V_{n-1}]$$

par suite

$$Z = -\frac{2\pi}{h}(\cos V_n - \cos V_0)$$

Or l'inverse du pas $\frac{1}{h}$ est le nombre de spires n_1 distribuées sur l'unité de longueur, donc

$$Z = -2\pi n_1 (\cos V_n - \cos V_0). \qquad (3)$$

Dans le cas des bobines unicouches ordinaires, il faut, dans la formule (3) prendre h égal au diamètre du fil enroulé. Pour $h = 0$ la formule (2) donne l'action exercée par un circuit circulaire.

$$Z_c = \frac{2\pi R^2}{\sqrt{(R^2+d^2)^3}} \qquad (4)$$

D'ailleurs, pour h petit, Z peut se mettre sous la forme

$$Z = \frac{2\pi R^2}{\sqrt{(R^2+d^2)^3}}\left[1 + \frac{h^2}{8}\,\frac{4d^2 - R^2}{R^2(R^2+d^2)}\cdots\right]$$

obtenue soit par le développement de l'intégrale (1) soit par l'intégration du développement de dZ.

Un élément de circuit parallèle aux génératrices détermine avec le pôle unité placé sur l'axe un plan qui contient l'axe, par suite, le champ électro-magnétique U dû à de tels éléments est normal à l'axe. Le champ total est dirigé obliquement sur l'axe suivant la résultante de Z et U.

L'action due à l'élément $d\sigma'$ a pour valeur

$$df = \frac{R\,d\sigma'}{r^3} = \frac{h}{2\pi R}\,dZ.$$

En composant les forces df par la règle du polygone on obtient une courbe dont la longueur d'arc est

$$s = f = \frac{h}{2\pi R} Z,$$

et la corde correspondante $c = U$. Donc le champ total a pour mesure l'hypoténuse d'un triangle rectangle ayant pour côtés de l'angle droit $s\frac{2\pi R}{h}$ et la corde de l'arc s. Les composantes de U suivant ox et oy sont, pour une spire :

$$X = \frac{Rh}{2\pi}\int_0^{2\pi}\frac{\sin\omega\, d\omega}{\sqrt{\left[R^2+\left(d+\frac{h}{2}-\frac{h}{2\pi}\omega\right)^2\right]^3}}$$

et

$$Y = -\frac{Rh}{2\pi}\int_0^{2\pi}\frac{\cos\omega d\omega}{\sqrt{\left[R^2+\left(d+\frac{h}{2}-\frac{h}{2\pi}\omega\right)^2\right]^3}}.$$

Pour comparer au magnétomètre les surfaces de la bobine et du cerceau, il est commode de donner aux valeurs correspondantes du champ Z suivant l'axe, une forme particulière.

Cas de la bobine. — La formule (3) donne

$$Z = 2\pi n_1(\cos V_0 - \cos V_n) \text{ ou } \sigma(\Omega - \Omega')$$

σ mesure la densité magnétique sur la face de la bobine, Ω et Ω' sont les angles solides sous lesquels on voit du point actionné les faces de la bobine. En désignant par D la distance du centre de la bobine au point et par l la demi-longueur de la bobine, on a en posant

$$\Delta = \left(1+\frac{l}{D}\right)^{-2}; \qquad \Delta' = \left(1-\frac{l}{D}\right)^{-2}:$$

$$\Omega - \Omega' = 2\pi\left\{\left[1+\frac{r^2}{D^2}\Delta\right]^{-\frac{1}{2}} - \left[1+\frac{r^2}{D^2}\Delta'\right]^{-\frac{1}{2}}\right\}$$

Dans mes expériences la plus grande valeur de $\frac{r}{D}$ est inférieure à $\frac{1}{10}$, donc $\frac{r^2}{D^2}$ est inférieur à $\frac{1}{100}$; la plus grande valeur de Δ est inférieure à $\frac{3}{2}$, la plus grande valeur de Δ' est inférieure à 2,5. Par suite, les termes $\frac{r^2}{D^2}\Delta$, $\frac{r^2}{D^2}\Delta'$ sont toujours inférieurs à l'unité, on peut donc développer les crochets ce qui donne :

$$\left[1+\frac{r^2}{D^2}\Delta\right]^{-\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2}\frac{r^2}{D^2}\Delta + \frac{3}{8}\frac{r^4}{D^4}\Delta^2 - \frac{5}{16}\frac{r^6}{D^6}\Delta^3 + \frac{35}{128}\frac{r^8}{D^8}\Delta^4 - \frac{63}{256}\frac{r^{10}}{D^{10}}\Delta^5 + \frac{231}{1\,024}\frac{r^{12}}{D^{12}}\Delta^6 - \frac{429}{2\,048}\frac{r^{14}}{D^{14}}\Delta^7 + \theta.$$

Le développement du second crochet est de la même forme, on a par suite :

$$\Omega - \Omega' = \pi\frac{r^2}{D^2}(\Delta'-\Delta)\left[1 - \frac{3}{2}\frac{r^2}{D^2}\left(\frac{\Delta'^2-\Delta^2}{\Delta'-\Delta}\right) + \frac{5}{8}\frac{r^4}{D^4}\frac{\Delta'^3-\Delta^3}{\Delta'-\Delta} - \frac{35}{64}\frac{r^6}{D^6}\frac{\Delta'^4-\Delta^4}{\Delta'-\Delta} + \theta\right]$$

D'autre part $\sigma = n_1$; $\Delta' - \Delta = \frac{4l}{D}\left(1-\frac{l^2}{D^2}\right)^{-2}$ et $\pi r^2 = s$ surface de la section droite de la bobine. En remarquant que $2ln_1 = n$ il vient :

$$H_b = \frac{2ns}{D^3}\left(1-\frac{l^2}{D^2}\right)^{-2}\left[1 - \frac{3}{2}\frac{r^2}{D^2}\frac{\Delta'^2-\Delta^2}{\Delta'-\Delta} + \frac{5}{8}\frac{r^4}{D^4}\frac{\Delta'^3-\Delta^3}{\Delta'-\Delta} - \frac{35}{64}\frac{r^6}{D^6}\frac{\Delta'^4-\Delta^4}{\Delta'-\Delta} + \theta\right]$$

Le produit des deux premiers facteurs représente le champ que produirait en M le magnétisme des faces s'il était condensé en leur centre, et le crochet tient compte de la distribution uniforme sur les faces.

En portant dans le dernier terme du crochet les valeurs de D choisies de manière à élever le plus possible la valeur de ce terme on obtient une valeur inférieure à $\frac{1}{7000}$. Comme l'erreur est moindre que le premier terme de θ et que ce premier terme est très inférieur à $\frac{1}{7000}$, il convient de limiter le crochet au terme en $\frac{r^6}{D^6}$. Pour les grandes distances ce terme lui-même n'affecte pas les décimales sur lesquelles il est légitime de compter.

Cas du cerceau. — Il faut développer le facteur relatif à la distribution des spires le long de la génératrice du cerceau en mettant en évidence les puissances du rapport $\frac{l}{D}$ qui est très petit. Le calcul est particulièrement simple en le conduisant de la manière suivante : Si le cerceau porte N_1 spires par centimètre de génératrice la tranche dx en comprend $N_1 dx$. Cette tranche produit à la distance $D-x$ un champ ayant pour intensité d'après la formule (4)

$$\frac{2SN_1 dx}{\left[(D-x)^2+R^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

En désignant par $2l$ la distance des deux plans limites du cerceau, le champ magné-

tique produit en M par la totalité des spires sera H_c,

$$H_c = 2SN_1 \int_{-l}^{+l} \frac{dx}{\left[(D - x)^2 + R^2\right]^{\frac{3}{2}}},$$

On peut encore écrire, en posant $\rho^2 = D^2 + R^2$.

$$H_c = \frac{2SN_1}{\rho^3} \int_{-l}^{+l} \left[1 + \frac{x(x - 2D)}{\rho^2}\right]^{-\frac{3}{2}} dx \qquad (I)$$

Posons $y = \frac{x(x-2D)}{\rho^2}$ et considérons l'expression $(1+y)^{-\frac{3}{2}}$. Comme la quantité y est inférieure à l'unité la formule de Newton généralisée donne

$$(1 + y)^{-\frac{3}{2}} = 1 - \frac{3}{2}y + \frac{15}{8}y^2 - \frac{35}{16}y^3 + \frac{315}{128}y^4 + \Theta.$$

Les termes de la partie Θ du développement sont d'un degré supérieur à 4.

Pour effectuer l'intégrale (1) on peut substituer au crochet son développement et l'on est conduit à

$$H_c = \frac{2SN_1 2l}{\rho^3}\left[1 - \frac{l^2}{2\rho^2} + \frac{3}{8}\frac{l^4}{\rho^4} + \frac{5}{2}\frac{l^2}{\rho^2}\frac{D^2}{\rho^2} - \frac{5}{16}\frac{l^6}{\rho^6} - \frac{21}{4}\frac{D^2}{\rho^2}\frac{l^4}{\rho^4} \cdots\cdots\right]$$

Le rapport $\frac{D^2}{\rho^2}$ est toujours plus petit que 1. Cherchons quelle est la valeur de $\frac{l^4}{\rho^4}$ dans un cas défavorable de mes expériences.

Prenons l égal à 1 cm, la plus petite valeur de D est voisine de 57 cm, et la plus petite valeur de ρ est supérieure à 60 cm ; donc on a

$$\frac{l}{\rho} < \frac{1}{60} \text{ et par suite } \left(\frac{l}{\rho}\right)^4 < \frac{1}{12 \times 10^6}.$$

Il est inutile de laisser figurer dans le crochet les puissances de $\frac{l}{\rho}$ supérieures à 2. La formule qui donne le champ Z dû au cerceau se réduit alors à

$$H_c = \frac{2SN_1 2l}{\rho^3}\left[1 - \frac{l^2}{2\rho^2} + \frac{5D^2}{2\rho^2}\frac{l^2}{\rho^2}\right]$$

En désignant par N le nombre total des spires on a $N = 2\,l\,N_1$, par suite

$$H_c = \frac{2SN}{\rho^3}\left[1 + \frac{l^2}{2\rho^2}\left(\frac{5D^2}{\rho^2} - 1\right)\right]$$

Cette formule montre que le cerceau agit comme une spire, supposée placée dans le plan central, qui serait parcourue par un courant dont l'intensité est mesurée par le même nombre que les spires du cerceau multiplié par un facteur de correction qui tient compte de la distribution des spires. Le facteur de correction ε est toujours positif. On a

$$\varepsilon = \frac{l^2}{2\rho^2}\left(\frac{5D^2}{\rho^2} - 1\right) > 0.$$

En effet, comme $\rho^2 = R^2 + D^2$, ε est positif si la condition $5\,D^2 > R^2 + D^2$ est satisfaite, il faut donc que l'on ait :

$$4D^2 > R^2 \quad \text{ou} \quad D > \frac{R}{2}.$$

Or, R = 30, 3 973 cm internationaux et la plus petite valeur de D surpasse toujours R, *a fortiori* $\frac{R}{2}$.

On pourrait négliger la correction dans le cas où $\frac{5D^2}{\rho^2} = 1$, c'est-à-dire lorsque

$$4D^2 = R^2 \quad \text{ou} \quad D = \frac{R}{2}.$$

En plaçant le centre du cerceau à une distance de l'aiguille aimantée égale à la moitié du rayon du cerceau, la parenthèse commencerait seulement au terme en $\frac{l^4}{\rho^4}$, et par suite se réduirait à l'unité dans les conditions où ce rapport peut être négligé.

Dans mon appareil $\frac{R}{2} = 15{,}18865$; pour $l = 1$ comme $\rho = \sqrt{R^2 + D^2}$ on a

$$\frac{l^4}{\rho^4} < \left(\frac{1}{33}\right)^4;$$

ce rapport est donc inférieur à 10^{-6}. Pour $D = \frac{R}{2}$ la correction est soustractive. Lorsque l'aiguille est au centre du cerceau D = o

et l'on a

$$\varepsilon = -\frac{l^2}{2\rho^2}.$$

La correction due à la largeur du cerceau doit bien alors être négative, car si toutes les spires sont d'abord concentrées dans le plan central qui renferme l'aiguille leur effet diminue lorsqu'on les écarte de ce plan dans un sens ou dans l'autre.

Voyons encore, en considérant ε comme une fonction de D, quelle valeur de D annule la dérivée $\frac{d\varepsilon}{dD}$. On obtient ainsi

$$D = R\sqrt{\frac{3}{2}}.$$

Ainsi la partie principale de la correction est négative pour $D = 0$, elle s'annule pour $D = \frac{R}{2}$, puis elle devient positive et augmente; elle prend sa valeur maximum pour $D = R\sqrt{\frac{3}{2}}$; elle diminue ensuite pour atteindre la valeur zéro lorsque D est infini.

Calculons la valeur maxima de la correction ε

$$\varepsilon = \frac{l^2}{2\rho^2}\left(\frac{5D^2}{\rho^2} - 1\right)$$

$$D^2 = \frac{3}{2} R^2; \qquad \rho^2 = \frac{5}{2} R^2.$$

$$\varepsilon_{max.} = \frac{2}{5}\frac{l^2}{R^2}.$$

Dans le cas du cerceau employé on a $l < 1$ et $R > 30$ cm, par suite

$$\varepsilon_{max.} < \frac{2}{5}\frac{1}{30^2} < \frac{1}{2\,250}.$$

Le facteur correctif ε est donc dans les conditions de l'expérience notablement inférieur

à $\frac{1}{2\,250}$.

Comparaison des sections S *et s du cerceau et de la bobine.* — J'ai comparé de diverses manières les surfaces S et *s* de la bobine et du cerceau auxiliaire.

1° *Méthode des résistances.* — Disposons le système bobine-cerceau en opposition à la distance *d* (distance du centre commun à l'axe du magnétomètre). Groupons les deux bobines en dérivation sur les bornes de l'électromoteur et intercalons dans celle qui fait le plus d'effet une résistance continue. En introduisant une fraction convenable de cette résistance dans le circuit on obtiendra l'équilibre. Dans ces conditions on a :

$$iH_b = i'H_c,$$

or

$$i = \frac{V}{R_b}; \qquad i' = \frac{V}{R_c + r}.$$

donc

$$\frac{i'}{i} = \frac{R_b}{R_c + r}$$

Comme $H_b = \frac{i'}{i} H_c$ on a finalement

$$H_b = \frac{R_b}{R_c + r} H_c. \qquad \text{(III)}$$

Le rapport des résistances est ensuite estimé au potentiomètre.

Cette méthode de comparaison des surfaces présente un inconvénient, les courants interviennent ici par leur intensité relative; or si les résistances s'échauffent inégalement, le rapport $\frac{R_b}{R_c + r}$ varie, le spot ne reste pas fixe, aussi est-il préférable d'opérer comme il suit :

2° Supposons que l'on fasse coïncider les centres et les axes du cerceau et de la bobine, puis que l'on installe le système sur la règle du magnétomètre de façon que l'axe commun aille passer par le milieu de la petite aiguille mobile. Une seconde bobine compensatrice est placée de la même façon sur une seconde règle opposée à la première. Les trois bobines étant parcourues par le même courant, on cherche la distance D du centre du système bobine-cerceau à l'aiguille pour que le champ additif du système soit compensé par celui de la bobine auxiliaire. On a alors

$$H_b + H_c = h_a. \qquad \text{(1)}$$

Comme les divers champs sont proportion-

nels aux courants d'excitation des bobines et que le même courant alimente celles-ci, il est évident que l'équilibre a lieu pour la même valeur de D quelle que soit l'intensité du courant utilisé.

Pour simplifier choisissons le courant 1. En pratique on emploie le courant le plus intense que puisse supporter les bobines sans inconvénients, dans le but de déterminer D avec la précision nécessaire, la sensibilité de l'appareil magnétométrique étant donnée. La différence des deux champs antagonistes est en effet proportionnelle à i en sorte qu'un petit déplacement à partir de la position d'équilibre se traduit par un déplacement du spot sur la règle proportionnel à i.

On change ensuite le sens du courant dans le cerceau seul de façon à produire sur le magnétomètre le champ

$$H'_b - H'_c.$$

On rapproche le système bobine-cerceau sans toucher à la bobine compensatrice qui reste fixe. Soit d la distance qui correspond à D pour laquelle la compensation a lieu, on a pour tous les courants et par suite pour le courant unité :

$$H'_{b.} - H'_{c.} = h_a. \qquad (2)$$

Des égalités (1) et (2) on tire :

$$(H_{b.} + H_{c.})_D = (H'_{b.} - H'_{c.})_d.$$

ou

$$H_{bob.\,D} - H'_{bob.\,d} + H_{cerc.\,D} + H'_{cerc.\,d} = 0. \qquad (I)$$

En posant

$$B = \frac{2}{D^3} \frac{1}{\left(1 - \frac{\rho^2}{D^2}\right)^2} \left[1 - \frac{3r^2}{4D^2} \frac{\Delta'^2 - \Delta^2}{\Delta' - \Delta} + \frac{5r^4}{8D^4} \frac{\Delta'^3 - \Delta}{\Delta' - \Delta} - \frac{35}{64} \frac{r^6}{D^6} \frac{\Delta'^4 - \Delta^4}{\Delta' - \Delta}\right]$$

et $b =$ la même expression dans laquelle D est remplacé par d, puis

$$C = \frac{2}{\rho^3}\left[1 + \frac{l^2}{2\rho^2}\left(\frac{5D^2}{\rho^2} - 1\right)\right]$$

$$c = \frac{2}{\rho'^3}\left[1 + \frac{l^2}{2\rho'^2}\left(\frac{5d^2}{\rho'^2} - 1\right)\right]$$

et enfin

$\sigma = ns$ surface totale de la bobine,
$\Sigma = NS$ surface totale du cerceau,

l'équation (1) devient

$$(B - b)\sigma + (C + c)\Sigma = 0$$

$$\frac{\sigma}{\Sigma} = -\frac{C + c}{B - b} \quad \text{ou} \quad \frac{C + c}{b - B}. \qquad (I)$$

Remarque. — Au lieu d'employer un champ auxiliaire h, on peut équilibrer directement l'effet magnétique de la bobine par l'effet magnétique du cerceau en les disposant de part et d'autre à des distances convenables l et l'. Un même courant traverse les deux bobines et dans un sens tel, qu'elles regardent le magnétomètre par une face de même signe. Dans le cas contraire, le champ serait additif au lieu d'être différentiel. Lorsque l'on a réglé l et l' de manière que le spot reste fixe, que le courant circule ou soit interrompu, on a

$$H_b = H_c.$$

Comme le champ antagoniste est le champ terrestre proprement dit, on dispose la double règle dans la direction Est-Ouest. Si le magnétomètre est muni d'une règle unique portant des divisions, on place sur cette règle la bobine que l'on veut déplacer et on dispose l'autre à poste fixe de manière à n'avoir à évaluer qu'une seule distance. On répète les mesures :

1° Après avoir changé le sens du courant ;

2° Après retournement face pour face des bobines ;

3° Après une rotation de 180° autour de l'axe du magnétomètre.

Pour simplifier le calcul il est bon d'utiliser la plus grande distance en sensibilisant s'il le faut l'aiguille du magnétomètre. On rend ainsi négligeable l'influence de la longueur de l'aiguille du magnétomètre ainsi que les termes supérieurs qui figurent dans l'expression de H_b et de H_c.

Il ne faut pas sensibiliser au delà de l'approximation que l'on s'impose car on est alors inutilement gêné par les variations extérieures du champ magnétique.

On a trouvé pour le champ produit par le cerceau

$$H_c = \frac{2SN}{\rho^3}\left[1 + \frac{l^2}{2\rho^2}\left(\frac{5D^2}{2\rho^2} - 1\right)\right]$$

et pour le champ de la bobine

$$H_b = \frac{2ns}{D^3}\left(1 - \frac{l^2}{D^2}\right)^{-2}\left[1 - \frac{3}{4}\frac{r^2}{D^2}\frac{(\Delta'^2 - \Delta^2)}{\Delta' - \Delta} + \frac{5}{8}\frac{r^4}{D^4}\frac{\Delta'^3 - \Delta^3}{\Delta' - \Delta} - \frac{35}{64}\frac{r^6}{D^6}\frac{\Delta'^4 - \Delta^4}{\Delta' - \Delta}\right]$$

ou

$$H_c = \frac{2SN}{\rho^3}[1 + \alpha] \text{ et } H_b = \frac{2ns}{D^3}\left(1 - \frac{l^2}{D^2}\right)^{-2}[1 + \beta]$$

$$\frac{ns}{NS} = \frac{D^3}{\rho^3} \cdot \frac{1 + \alpha}{1 + \beta} \cdot \left(1 - \frac{l^2}{D^2}\right)^2$$

$$\frac{\sigma}{\Sigma} = \frac{D^3}{\rho^3} \cdot \frac{1 + \alpha}{1 + \beta}\left(1 - \frac{l^2}{D^2}\right). \qquad \text{(II)}$$

(*A suivre.*)

A. Guillet

ACCUMULATEURS POUR AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES (1)

V. — Accumulateurs Ramon da Souza

L'ingénieur italien Ramon da Souza, de Bussalla, près Gênes, nous communique les résultats d'essais faits récemment sur un accumulateur de son invention.

Cet accumulateur est du genre Planté; c'est tout ce que nous pouvons en dire pour

Tableau I. — *Poids, dimensions, capacités, débits, etc., des accumulateurs da Souza.*

Nombre de plaques.	positives	6	4	5	6	6	8
	négatives	7	5	6	7	7	9
	total	13	9	11	13	13	17
Surface active d'un élément (+ et —) en dcm².		253,77	304,59	365,35	406,10	507,67	609,18
Dimensions intérieures des bacs (m).	Hauteur	0,18	0,18	0,18	0,18	0,20	0,20
	Longueur	0,26	0,18	0,215	0,26	0,26	0,33
	Largeur	0,08	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Capacité rapportée au dcm² de surface + et —		0,44	0,44	0,44	0,44	0,40	0,44
Poids d'un élément complet (kg)		5,895	6,815	8,035	8,903	10,792	12,980
Poids de la batterie de 44 éléments (kg)		259,300	299,86	353,540	391,730	475,850	571,120
Durée de la décharge en heures		5	5	5	5	5	5
Force électromotrice (volts)		1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Capacité en amp.-h.	par élément	111,50	133,80	160,56	178,40	223	267,60
	par kg d'élément	19	19	20	20	20,6	20,6
Débit normal en ampères	par kg d'élément	3,78	3,92	3,99	4,01	4,13	4,12
	par élément	22,30	26,70	32,11	35,68	44,60	53,52
Puissance normale en watts.	par kg d'élément	7,18	7,44	7,59	7,62	7,85	7,83
	par élément	42,35	50,75	61	67,80	84,75	101,70
	par batterie (44)	1864	2232	2684	2983	3728	4474
Énergie (watts-heure)	par élément	211,85	254,22	305,06	338,96	423,70	508,44
	par batterie (44)	9321	11185	13422	14914	18642	22371
Énergie en chevaux-vapeur-heure par batterie (44)		12,66	15,19	18,23	20,26	25,33	30,39
Poids d'éléments	par kilowatt-heure (kg)	27,8	25,9	26,3	26,3	25,5	23,7
	par cheval-heure (kg)	20,5	19,7	19,4	19,4	18,8	18,8
Poids de plomb par cheval-heure (kg)		13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 29 juillet, p. 124.

Tableau II. — *Batterie de 175 et 180 amp.-heure pour traction.*

Nombre de plaques positives et négatives		11	11
Durée de la décharge en heures		7	6
Force électromotrice (volts)		1,9	1,9
Dimensions intérieures des bacs (mm).	hauteur	200	200
	longueur	215	215
	largeur	95	95
Poids d'un élément complet (kg)		8,208	8,488
Poids de la batterie de 44 éléments (kg)		361,150	373,470
Capacité en amp.-h.	par kg de plaque	26,9	26,8
	par kg d'élément	21,3	21,2
	par élément	175	180
Débit normal en amp.	par kg de plaque	3,8	4,3
	par kg d'élément	3,05	3,53
	par élément	25	30
Puissance normale en watts	par kg de plaque	7,2	8,2
	par kg d'élément	5,8	6,71
	par élément	47,5	57
	par batterie	2 090	2 508
Puissance normale en watts-h.	par kg de plaque	51	50,9
	par kg d'élément	40,47	40,28
	par élément	332,5	342
	par batterie	14 630	15 048
Energie en chevaux-heure par batterie		19,85	20,45

le moment, les brevets qui le couvrent n'étant pas encore obtenus dans tous les pays.

On voit par le tableau I où sont indiqués les résultats fournis par les essais faits sur divers éléments avec une durée de décharge de 5 heures que la capacité atteint environ 20 ampères-heure par kilogramme d'élément, résultat extraordinaire pour un accumulateur à formation Planté et que l'inventeur attribue à l'énorme surface active des plaques (62 dcm^2 par kilogramme d'électrode). Le tableau II qui se rapporte à deux éléments spéciaux déchargés l'un en 7 heures, l'autre en 6 heures, montre que pour ces durées de décharge la capacité par kilogramme d'élément s'élève à plus de 21 ampères-heure, ce qui correspond à près de 27 ampères-heure par kilogramme de plaque ; l'inventeur estime d'ailleurs que l'on pourra réaliser des éléments de ces types ayant une capacité spécifique encore un peu plus grande, les poids de ces éléments, paraissant, d'après les résultats des essais, pouvoir être légèrement diminués tout en laissant les accumulateurs capables de supporter sans inconvénients des variations de débit très grandes et extrêmement brusques.

On voit par ces chiffres que l'accumulateur da Souza a une capacité égale et même un peu supérieure à celle des meilleurs accumulateurs à oxydes rapportés actuellement sur le marché. Comme en raison de son mode de formation il doit être moins susceptible que ceux-ci aux détériorations et par conséquent avoir une durée plus longue, son invention constituerait un progrès considérable dans la construction des accumulateurs. Espérons donc pour l'avenir de l'automobilisme électrique que les résultats merveilleux des essais préliminaires se retrouveront dans les essais définitifs que l'inventeur se propose de faire bientôt en public et sur lesquels nous reviendrons s'il y a lieu.

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Fusibles Munslow et Sowry (¹).

Dans les installations importantes comprenant un grand nombre de circuits et par suite un grand nombre de fusibles généralement rassemblés sur le tableau de départ des circuits, il est quelquefois difficile de reconnaître rapidement, quand un fusible vient à fondre, quel est celui qui a fondu et qu'il convient de remplacer. Pour éviter cet inconvénient, MM. Munslow et Sowry munissent chaque fusible d'un indicateur qui, suivant la disposition des fusibles, est actionné, soit par un ressort, soit simplement par la pesanteur, au moment de la fusion.

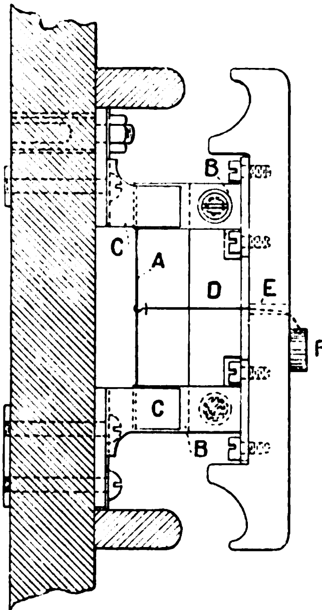


Fig. 1. — Fusible Munslow et Sowry avec indicateur de fonctionnement.

La figure 1 représente un dispositif très simple. Au fil fusible A, serré entre les pinces B qui s'engagent entre les mâchoires C, est attaché un fil D traversant en E la poignée du fusible et supportant un poids F. Quand le fil A fond, le poids F tombe. J. R.

(¹) Brevet anglais n° 11 609, déposé le 23 mai 1898, accepté le 29 avril 1899.

Combinateur Jeantaud et Rechniewsky pour automobiles électriques (¹).

Ce combinateur, destiné à une voiture munie de deux batteries d'accumulateurs alimentant un moteur à double enroulement d'excitation, se compose de trois appareils montés sur un même axe :

1° Un appareil de couplage ou combinateur F proprement dit servant au démarrage en avant ou en arrière, à la régulation de la vitesse et à l'arrêt du véhicule ;

2° Un appareil de freinage G ayant le double effet de diminuer la vitesse lorsque le véhicule descend une pente et de produire l'arrêt avec une puissance variable à volonté, en agissant électriquement sur le moteur et mécaniquement sur les essieux ou les roues de la voiture ;

3° Un frein de sûreté H agissant sur les roues du véhicule et sur un coupe-circuit.

Ces trois appareils sont réunis par des liaisons mécaniques telles que l'un quelconque d'entre eux ne puisse être mis en action si les autres se trouvent alors dans une position défavorable.

La figure 1 représente schématiquement ces trois appareils en les supposant, pour plus de clarté, séparés les uns des autres ; les figures 2 et 3 donnent une élévation et une vue en plan de l'ensemble ; sur la figure 4 sont indiquées les diverses connexions.

1. *Coupleur*. — L'appareil de couplage comprend un cylindre isolant *a* claveté sur l'arbre vertical *b* manœuvré par le levier *c* ; sur la surface latérale de ce cylindre sont fixées les pièces ou plots métalliques e_1, e_2, etc. ; en face du cylindre sont disposés 12 balais de contact d_1, d_2, etc. ; le cylindre peut occuper 6 positions pour chacune desquelles les plots sont en contact avec les balais suivant l'une

(¹) Brevet anglais n° 12 220, déposé le 31 mai 1898, accepté le 31 mai 1899.

des 6 génératrices numérotées de 0 à 5 sur la partie de la figure 4 représentant le développement de la surface latérale du cylindre.

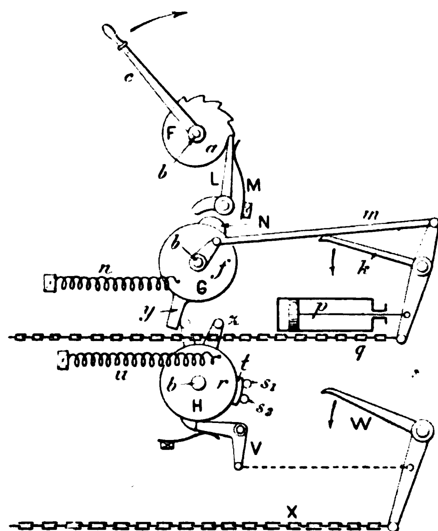


Fig. 1. — Schéma de l'ensemble du combinateur.

Lorsque le levier de manœuvre est dans une position telle que les contacts se fassent suivant la génératrice 1, le circuit de décharge des deux batteries A_1 et A_2 est coupé entre d_2 et d_1 et entre d_5 et d_6. C'est la position d'arrêt. Si l'on veut recharger les batteries il suffit, après avoir ouvert les deux interrupteurs à chevilles P_1 et P_2, d'introduire dans les trous I_1 et I_2 les extrémités des câbles d'alimentation, les batteries se trouvant alors groupées en séries par les balais d_3 et d_4 et le plot e_7.

Quand les balais sont en contact avec les plots suivant la génératrice 2, les deux batteries sont reliées en parallèle; leurs pôles de mêmes noms d_1 et d_3 sont reliés au circuit de décharge par le plot e_{11} et le balai d_1; les deux autres pôles d_4 et d_5 sont reliés à l'autre extrémité du circuit de décharge par le plot e_{12} et le balai d_6.

Le courant des batteries traverse alors successivement l'interrupteur H, la résistance G, l'enroulement d'armature B du moteur, puis les deux enroulements inducteurs C_1 et C_2 bobinés en série. En même temps deux courants amenés des batteries par les circuits indiqués en lignes ponctuées sur la figure 4 traversent les deux enroulements en dérivation D_1 et D_2 également bobinés sur les noyaux. On remarquera que ces deux enroulements se trouvent toujours traversés par des courants dérivés sauf quand le coupleur est dans la position correspondant à l'arrêt. La

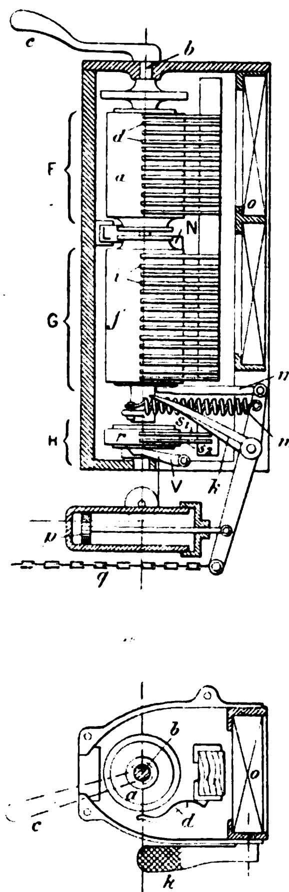


Fig. 2 et 3. — Elévation et vue en plan.

position qui vient d'être examinée correspond au démarrage et à la marche à faible vitesse.

Si l'on amène la génératrice 3 en face de la ligne des balais les deux batteries se trouvent couplées en série mais aucune modification n'est apportée dans les connexions du circuit de décharge. Cette position du coupleur donne une vitesse plus grande que celle qui correspond à la position précédente; elle convient également pour monter une rampe.

En amenant les contacts sur la génératrice 4 on introduit les résistances E_1 et E_2 en dérivation sur l'armature ; on diminue par suite le courant d'armature et partant on augmente la vitesse du moteur.

Lorsque les contacts ont lieu suivant la génératrice 5, la résistance du circuit dérivé se trouve diminuée de celle de la bobine E_1 qui se trouve mise hors circuit et la vitesse angulaire du moteur se trouve encore augmentée.

La génératrice o correspond à la marche arrière avec une vitesse égale à celle que l'on a dans la marche avant quand les contacts sont établis suivant la génératrice 2.

2. *Appareil de freinage.* — L'appareil de freinage G a pour buts : *a*) de réduire la vitesse du véhicule par l'insertion dans le circuit d'une résistance graduée et par la rupture du circuit quand toute la résistance y a été introduite ; *b*) de freiner électriquement le véhicule en fermant, après rupture du circuit d'alimentation, l'enroulement d'armature sur une résistance diminuant graduellement jusqu'à zéro ; *c*) de produire en même temps que le freinage électrique un freinage mécanique en agissant sur les essieux ou les roues du véhicule ; *d*) enfin, de régler la remise en marche de la voiture après un arrêt en desserrant d'abord le frein mécanique, puis supprimant les connexions assurant le freinage électrique et en dernier lieu fermant le circuit du moteur sur une résistance graduellement décroissante.

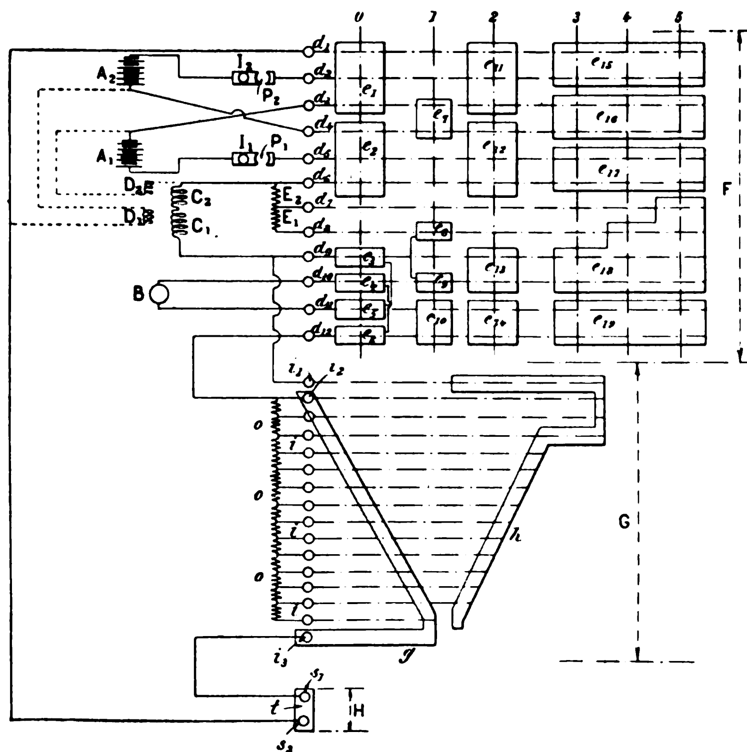


Fig. 4. — Diagramme des connexions.

Cet appareil se compose d'un cylindre isolant *f* (fig. 1 et 2) sur lequel sont fixées les barres métalliques *g* et *h* représentées en développement sur la figure 4 et en face duquel se trouve une ligne de balais *i* reliés les uns aux autres par les résistances *o*. Ce cylindre est monté fou sur l'axe de l'ensemble du combinateur. Il est mis en mouvement dans un sens par une pédale *k* (fig. 2 et 3) et

une tige *m*; il est ramené dans sa position normale par un ressort *n* dont l'action est amortie par l'amortissement à air *p*.

Quand le cylindre est dans la position indiquée en figure 4, le courant venant de la borne s_1 de l'interrupteur H passe par le balai i_3 dans la barre *g* qui l'amène au balai i_2 d'où il se rend au coupleur par le balai d_{12}. Si l'on fait tourner le cylindre, la partie supérieure de la barre *g* cesse d'être en contact avec le balai i_3 pour venir en contact avec l'un des balais *i* situés en dessous; le courant se trouve ainsi forcé de parcourir les résistances *o* comprises entre les balais en contact avec *g* et le balai i_2, le nombre de ces résistances augmentant à mesure que la rotation s'effectue. Il arrive un moment où la partie horizontale inférieure de la barre *g* cesse d'être en contact avec le balai i_3; le circuit principal d'alimentation du moteur est alors coupé, mais des courants continuent à circuler dans les deux enroulements en dérivation D_1 et D_2 de l'armature.

La rotation du cylindre continuant à s'effectuer, la partie supérieure de la barre *h* vient en contact avec le balai i_1 relié au balai d_9 et la partie inférieure en contact avec l'un des balais *i* relié par l'intermédiaire des résistances *o* au balai d_{12}. Quelle que soit la position, autre que celle de l'arrêt, du coupleur le circuit d'armature B se trouve donc fermé par les résistances *o* et enfin mis en court-circuit et les courants induits développés par le mouvement, les enroulements D_1 et D_2 étant toujours traversés par des courants, donnent lieu à un freinage d'autant plus énergique que le nombre des résistances *o* intercalées dans le circuit induit est moins grand.

Pour obtenir un freinage mécanique en même temps que le freinage électrique, la pédale *k* non seulement fait mouvoir le cylindre *f*, mais encore tend la chaîne *q* qui agit sur un frein mécanique.

Enfin on voit immédiatement que lorsque le cylindre *f* reprend sa position primitive sous l'action du ressort *n*, le freinage mécanique et le freinage électrique sont supprimés, puisque le courant principal est rétabli à travers une résistance graduellement décroissante.

3. *Frein de sûreté.* — Cet appareil qui ne doit être mis en action que dans le cas où un arrêt rapide est urgent, se compose d'un interrupteur de courant et d'un frein mécanique très puissant. L'interrupteur est constitué par une plaque conductrice *t* normalement en contact avec deux plots s_1 et s_2 et fixée sur un disque isolant r_1 monté fou sur l'axe de l'ensemble du combinateur. Un fort ressort *u* tend à déplacer le disque de sa position normale; un taquet V s'oppose à ce déplacement. Quand on appuie sur la pédale W le taquet V dégage le disque qui, en tournant, rompt le circuit. En même temps le frein mécanique est mis en action par la chaîne X. Toutefois la rupture du courant se produit avant que le frein n'agisse.

Il reste maintenant à décrire les liaisons mécaniques empêchant de manœuvrer l'une des parties de l'appareil si les autres ne se trouvent pas dans une position convenable.

Le coupleur F est lié à l'appareil de freinage G par un dispositif que l'on voit nettement en figure 1. Le cylindre G porte une came N qui, lorsqu'elle rencontre l'extrémité du levier coudé L, dégage l'autre extrémité de ce levier des dents de la roue *a* solidaire du cylindre de couplage. Tant que L reste engagé il est possible, au moyen du levier de manœuvre *c*, de faite tourner le coupleur dans le sens qui correspond à une diminution de vitesse. Pour le faire tourner dans le sens opposé et par conséquent augmenter la vitesse du véhicule, il faut que la came dégage le levier L, ce qui n'a lieu que quand le cylindre de freinage est dans une position telle que toutes les résistances *o* se trouvent intercalées dans le circuit d'alimentation. On arrive donc ainsi à démarrer et à changer de vitesse d'une façon graduée.

D'autre part le cylindre de freinage est

muni d'un taquet *y* et le disque du frein de sûreté d'un second taquet *z*. Quand on fait fonctionner le frein de sûreté le taquet *z* vient en contact avec le taquet *y* dans la position indiquée en lignes ponctuées sur la figure 1. Pour ramener le disque *r* dans la position normale, c'est-à-dire fermer le circuit, on agit sur la pédale *k* et le taquet *y* pousse *z*; mais en même temps le cylindre de freinage tourne et quand la fermeture du circuit se produit sa position est encore telle que toutes les résistances *o* se trouvent intercalées dans le circuit.

Il est évident que l'on peut faire fonctionner le frein électrique en même temps que le frein mécanique de sûreté puisque, comme nous l'avons dit en décrivant l'appareil de freinage électrique, ce freinage se produit quelle que soit la position du coupleur, excepté la position d'arrêt, grâce aux deux enroulements en dérivation D_1 et D_2 des bobines de champ. On pourra donc utiliser, si besoin en est, les deux modes de freinage simultanément.

Il est enfin à remarquer que le freinage électrique peut encore s'effectuer quand le coupleur est dans la position d'arrêt en utilisant les courants induits dans l'armature par le magnétisme rémanent des inducteurs. On voit en effet par le diagramme de la figure 4 que quand le coupleur est dans cette position et le cylindre de freinage dans la position de freinage le circuit des enroulements C_1 C_2 est fermé par les résistances E_1 E_2, les plots e_8 et e_9, l'enroulement induit B, le plot e_{10}, un nombre plus ou moins grand des résistances *o*, la barre *h* et enfin le conducteur reliant i_1 à C_1.

L'ensemble de ce combinateur est donc fort bien étudié pour prévenir d'une façon absolue un démarrage, un arrêt ou un changement de vitesse trop brusques et pour assurer un freinage énergique et rapide.

J. R.

Rhéostats Clémançon à action continue ; Dispositif pour la production des effets de lumière au théâtre (1).

Pour faire varier d'une façon continue la résistance introduite dans un circuit, M. Clémançon se sert d'un fil résistant enroulé sur un cylindre isolant et fait varier la longueur du fil en circuit soit en faisant tourner le cy-

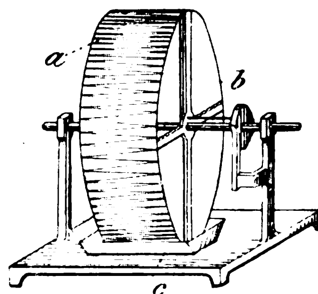


Fig. 1. — Rhéostat Clémançon à mercure.

lindre au-dessus d'un bain de mercure dans lequel plonge le fil, soit en faisant glisser le

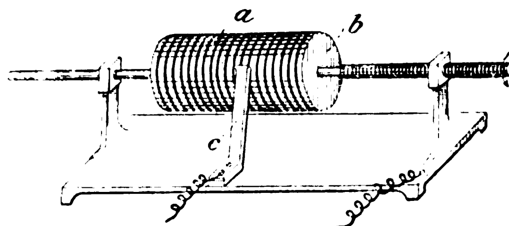


Fig. 2. — Rhéostat Clémançon avec contact solide fixe.

long du fil un contact solide. La figure 1 représente un rhéostat avec bain de mercure :

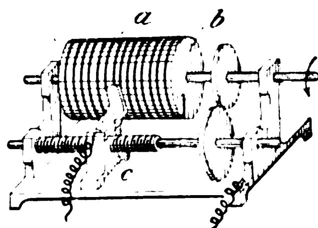


Fig. 3. — Rhéostat Clémançon avec contact solide mobile.

a est le fil, *b* la monture isolante, *c* le vase contenant le mercure. Les figures 2 et 3 indi-

(1) Brevet anglais n° 9511, déposé le 25 avril 1898, accepté le 25 avril 1899.

quent deux dispositifs avec contact solide glissant; dans l'un (fig. 2) le contact *c* est fixe et le cylindre est animé d'un double mouvement de rotation et de translation; dans l'autre (fig. 3) le cylindre n'a qu'un mouvement de rotation et le contact se déplace longitudinalement le long du cylindre. On peut imaginer d'ailleurs plusieurs autres dispositifs aussi simples remplissant le même but.

L'application de ces rhéostats à action continue à la production des effets lumineux dans les théâtres est représentée par la figure 4. Les lampes sont connectées d'une part à l'un des conducteurs principaux de la distribution,

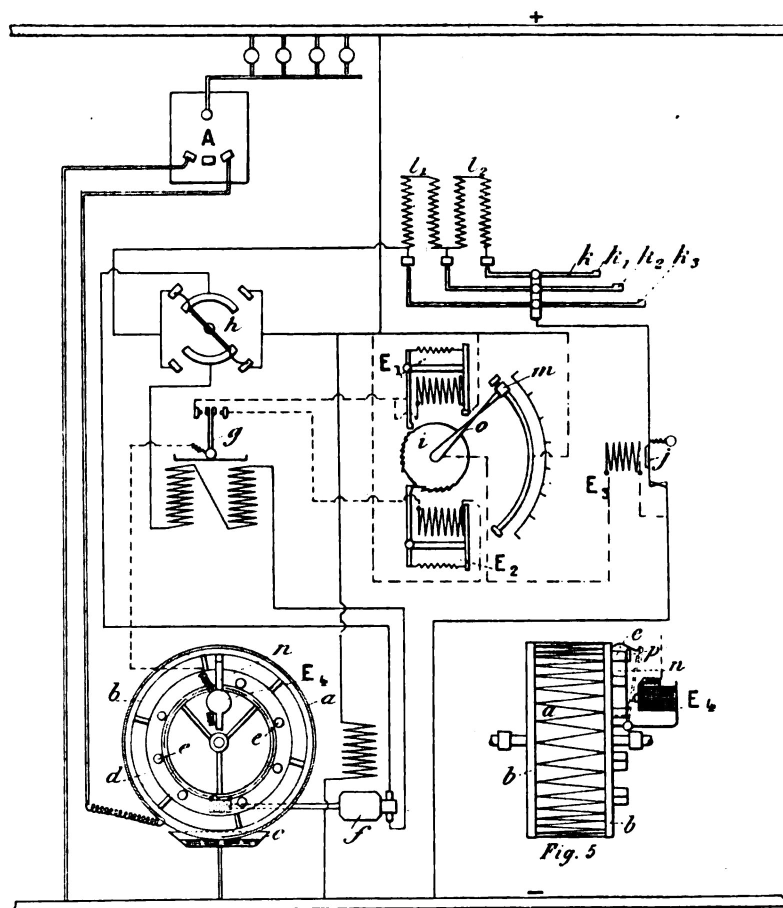


Fig. 4 et 5. — Schéma du dispositif pour la production d'effets lumineux et détail du rhéostat.

le conducteur positif par exemple, d'autre part à un conducteur aboutissant à un commutateur A à trois directions permettant de couper le courant et de relier les lampes au conducteur négatif soit directement soit par le rhéostat à mercure *abc*. Ce rhéostat est mû par un petit moteur *f* dont l'inducteur est en dérivation entre les conducteurs principaux et dont l'induit est relié à un inverseur de courant *h*. Deux plots de cet inverseur sont en communication directe avec le conducteur positif; les deux autres sont reliés au conducteur négatif par l'intermédiaire des résistances l_1 et l_2, du commutateur *k* à trois clefs k_1, k_2, k_3 et de l'interrupteur électromagnétique *j*. La mise en marche du moteur s'effectue en fermant le circuit de l'induit au moyen de la clef k_1; on fait varier sa vitesse et par conséquent la rapidité avec laquelle l'intensité des lampes augmente ou diminue, en insérant

ou mettant hors circuit les résistances l_1 et l_2 au moyen des clefs k_2 et k_3; le changement de marche s'obtient à l'aide de l'inverseur de courant *h*.

La position du rhéostat est à chaque instant indiquée par l'aiguille *o* d'un indicateur *i*. Dans ce but la monture du rhéostat porte un anneau métallique *d* muni de plots *e*; cet anneau est relié au conducteur négatif. En face de l'anneau se trouve une lame métallique *n* qui, lorsqu'elle est en contact avec l'un des plots, ferme le circuit par l'électro-aimant E_4 le relais *g* et l'un des électro-aimants E_1 et E_2 reliés au conducteur positif. Quand le rhéostat tourne dans un certain sens, le courant d'armature du moteur fait incliner la tige porte-contacts du relais *g* d'un certain côté, à gauche par exemple; c'est alors l'électro-aimant aimant E_1 qui est traversé par le courant de dérivation chaque fois qu'un plot *e* vient en contact avec la lame *n* et l'armature de cet électro-aimant fait avancer d'une dent la roue à encoches *i* solidaire de l'aiguille *o*. Quand le rhéostat tourne dans le sens opposé, le courant traverse le relais *g* en sens inverse et ce relais fait passer maintenant le courant de dérivation dans l'électro-aimant E_2 qui fait tourner dans le sens opposé au précédent, la roue solidaire de l'aiguille. Quant à l'électro-aimant E_4 il a pour but de rompre franchement le contact des plots *e* et de la lame *n*. Celle-ci pourrait, en effet, par suite de son élasticité, entrer en vibration pendant qu'un plot se trouve en face d'elle et produire ainsi une série de contacts successifs, et comme chaque contact fait avancer d'une dent la roue à encoches, l'indicateur se trouverait déréglé. En excitant l'électro-aimant E_4 le courant de dérivation rompt immédiatement le contact entre *n* et *e* et cette rupture se trouve maintenue par l'action du petit ressort *p* (fig. 5) qui empêche la lame *n* de retomber sur *e*, tant que ce ressort, fixé à la monture du rhéostat, reste engagé sous la lame.

Pour arrêter automatiquement le rhéostat dans une position fixée à l'avance et par conséquent reproduire d'une manière sûre les effets de lumière voulue, l'indicateur porte un contact *m* que l'on peut déplacer à volonté sur un arc métallique relié au conducteur positif de la distribution. L'aiguille *o* étant en communication avec le conducteur négatif par un circuit comprenant l'électro-aimant E_3, cet électro-aimant se trouve excité dès que l'aiguille vient toucher le contact *m* et le circuit de l'armature du moteur est coupé en *j* par l'action de l'électro-aimant.

Ajoutons que ce dispositif est employé depuis quelque temps sur plusieurs scènes parisiennes, en particulier sur celle de l'Opéra-Comique et qu'il a donné d'excellents résultats. J. R.

Génération directe de l'énergie électrique au moyen du charbon ; oxydation du charbon à la température ordinaire par l'air atmosphérique ;

Par Willard-E. Case (1).

Depuis plusieurs années déjà de nombreux essais ont été faits pour obtenir l'énergie électrique directement du charbon, c'est-à-dire au moyen de piles dans lesquelles une électrode en charbon se consume aux dépens de l'oxygène de l'air, soit directement, soit indirectement.

Dès 1888, M. W.-E. Case indiquait la solution suivante (2) : Confectionner une pile dont l'énergie électrique résulte de la dissolution d'une électrode en charbon dans du chlorure ferrique et régénérer ensuite le chlorure ferrique au moyen d'un courant d'air. Dans les expériences qui font l'objet du mémoire que nous analysons, l'auteur a voulu mettre nettement en évidence les trois points suivants : 1° le chlorure ferrique est réduit par le carbone à la température ordinaire ; 2° le chlorure ferreux résultant de la réduction peut être transformé en chlorure ferri-

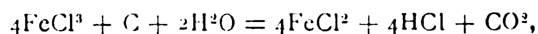
(1) Communication faite le 15 juin 1899 à la Royal Society, reproduite dans *Electrical World and Engineer* du 22 juillet 1899, t. XXXIV, p. 121.

(2) *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, séance du 10 janvier 1898.

que par l'air dans les mêmes conditions de température; 3° il est possible de constituer un élément de pile au moyen de carbone et de chlorure ferrique.

I. — Pour mettre en évidence le premier point, M. Case prenait 50 cm³ d'une dissolution de chlorure de fer, contenant 0,875 gr de fer et bien privée d'oxygène par son maintien pendant quelque temps à une température voisine de celle d'ébullition dans une atmosphère d'azote; il y ajoutait ensuite 3 gr de carbone et agitait le flacon contenant la dissolution et le charbon pendant cinq minutes; il déterminait alors la quantité de chlorure réduit par un essai avec une solution titrée de bichromate de potassium. En prenant comme carbone du noir de fumée, il n'observa aucune réduction; avec du charbon de bois la quantité de chlorure réduit est de 2,42 p. 100 de celle contenue primitivement dans la solution; avec du charbon de sucre parfaitement privé d'air et de tout autre gaz [1] la quantité réduite s'élevait à 10,2 p. 100; avec du charbon de sucre qui paraissait contenir un peu de gaz occlus, elle atteignit 10,98 p. 100, valeur assez peu différente de la précedente pour qu'on puisse conclure que les gaz occlus n'ont qu'un effet médiocre, d'autant plus que cette légère différence pouvait provenir d'autres causes.

La réduction du chlorure ferrique par le charbon étant ainsi démontrée, M. Case a cherché si cette réduction pouvait être complète et quelle était la nature de la réaction. Pour cela il prenait deux petits flacons de 100 cm³ de capacité, mettait dans chacun d'eux 50 cm³ d'une solution de chlorure ferrique contenant 0,2851 gr de ce sel, faisait passer un courant d'hydrogène de manière à chasser tout l'air, ajoutait 3 gr de charbon de sucre et fermait les flacons. Au bout de cinq jours les flacons furent ouverts; l'essai chimique de la solution de l'un montra qu'il n'y avait qu'une trace de chlorure ferrique; l'analyse du gaz de l'autre indiqua qu'il s'était formé une quantité de gaz carbonique contenant 0,005 154 gr de carbone. Le premier résultat démontrait que la réduction peut être complète, le second que la réaction correspond à la formule



$$4FeCl^3 + C + 2H^2O = 4FeCl^2 + 4HCl + CO^2,$$

car d'après cette formule la réduction de 0,2851 gr de chlorure ferrique exige 0,005263 gr de carbone, poids ne différant de celui trouvé expérimentalement (0,005 154 gr) que d'une quantité de l'ordre des erreurs d'expériences. En outre M. Case s'est assuré, au moyen des réactifs de l'oxyde de carbone, que ce gaz ne se formait pas dans la réaction.

La chaleur dégagée par cette réaction a pu être mise en évidence de la façon suivante: On prenait deux flacons de 100 cm³ de capacité, on versait dans chacun d'eux 50 cm³ d'une solution de chlorure ferrique contenant 2,62 gr de ce sel et, quand la température des deux flacons avait pris la même valeur 27°,4 C, on mettait dans l'un 2 gr de charbon de sucre. On agitait alors les deux flacons d'une façon aussi identique que possible en les plaçant côte à côte sur un appareil spécial et on prenait leur température au bout de quelque temps. On trouva que la température de la solution additionnée de charbon s'était élevée à 27°75 C tandis que celle du flacon témoin ne s'était élevée qu'à 27°,5 C.

Enfin diverses autres expériences ont montré à M. Case que le chlorure ferrique n'est réduit à froid ni par l'hydrogène, ni par l'oxyde de carbone, ni par le gaz d'éclairage ou le gaz à l'eau.

II. — Dans une des expériences faites pour déterminer le pouvoir oxydant de l'air sur le chlorure ferreux, on disposait l'un à la suite

---

[1] Le charbon de sucre réduit en poudre était chauffé au rouge pendant dix minutes dans un tube traversé par un courant d'azote, puis abandonné à un refroidissement lent dans cette atmosphère d'azote. Il était ensuite transvasé dans un tube de verre rempli d'azote et en communication avec une pompe à vide. On faisait le vide aussi complètement que possible, on chauffait au rouge sombre, on faisait rentrer de l'azote de manière à rétablir la pression atmosphérique, puis on laissait refroidir et on recommençait une seconde fois ces quatre opérations.

de l'autre quatre flacons A, B, C, D, en communication avec un aspirateur, et contenant, le premier A de l'eau pure destinée à saturer l'air, le second 25 cm³ d'une solution de chlorure de fer renfermant 0,8823 gr de fer dont 0,8343 gr à l'état de chlorure ferreux, le troisième de l'eau distillée pour laver l'air sortant du flacon précédent, le quatrième enfin la même solution que B mais additionnée d'acide chlorhydrique. Au bout de 18 heures on fit l'analyse des liqueurs des flacons B et D et l'on trouva que la proportion du fer à l'état de chlorure ferrique avait augmenté de 5,8 p. 100 dans B et de 6,8 p. 100 dans D.

Dans une seconde série d'expériences, trois flacons E, F, G étaient reliés en parallèle à l'aspirateur et contenaient chacun 25 cm³ d'une solution acide de chlorure ferreux renfermant 0,213 gr de ce sel, soit 0,0947 de fer, concentration qui correspond au maximum de la conductivité électrique des solutions de chlorure fer. Il n'y avait aucune trace de chlorure ferrique. Le flacon F contenait en outre du noir de platine, le flacon G de la pierre ponce pulvérisée. Chacun des flacons était précédé d'un flacon laveur contenant de l'eau distillée. Après 24 heures de passage de l'air il restait 95,02 p. 100 de fer à l'état de chlorure ferreux dans les flacons E et G, et 93,14 p. 100 dans le flacon F, ce qui montre que le noir de platine augmente le pouvoir oxydant de l'air, mais que la pierre ponce n'a aucun effet de ce genre.

Une autre expérience faite avec de l'air d'une part, de l'oxygène d'autre part, montra qu'avec l'air 6,88 p. 100 du fer était oxydé au bout de 24 heures et qu'avec l'oxygène la proportion oxydée dans le même temps était de 8,23 p. 100.

III. — Les essais faits en vue de s'assurer que la chaleur de la réaction du charbon sur le chlorure ferrique peut être retrouvée sous forme d'énergie électrique ont été nombreux.

Tout d'abord M. Case construisit une pile dont une électrode était constituée par du charbon de sucre finement pulvérisé et placé dans un vase poreux où l'on faisait le vide aussi bien que possible ; ce vase poreux était alors plongé dans une solution de chlorure ferrique qui filtrait à travers les parois du vase ; la seconde électrode était une feuille de platine platinée. La force électromotrice de cette pile était de 0,2 volt ; en court-circuit elle donnait un courant dont l'intensité, tout d'abord de 0,1 ampère, tombait rapidement à 0,05 ampère et décroissait ensuite lentement, atteignant 0,01 ampère au bout de 8 heures. Cette pile reprit sa force électromotrice primitive 0,2 volt après avoir été maintenue en circuit ouvert pendant 12 heures et traversée pendant ce temps par un lent courant d'oxygène. Mise alors en court-circuit pendant 24 heures et laissée ensuite en circuit ouvert pendant 12 heures, elle reprit une force électromotrice de 0,15 volt et donna 0,05 ampère en court-circuit.

Une seconde pile fut construite, ne différant de la précédente qu'en ce que dans le vase poreux la solution de chlorure ferrique fut remplacée par une solution de chlorure ferreux afin de voir ce qui arriverait si la réduction du chlorure ferrique était complète dans la pile précédente. La force électromotrice de cette pile était primitivement de 0,25 volt ; elle tombait à 0,2 volt après un court-circuit ; elle reprenait sa valeur initiale au bout d'une heure de mise en circuit ouvert.

Dans une autre pile M. Case supprima le vase poreux, l'électrode étant alors une lame de charbon obtenu en calcinant au rouge sombre un mélange de charbon de sucre en poudre et de caramel. La force électromotrice de cette pile n'était que de 0,06 volt et s'abaissait à 0,05 volt au bout d'une demi-heure. Mise en court-circuit la différence de potentiel s'abaissa de 0,022 à 0,016 volt en 40 minutes, l'intensité du courant produit variant de 0,04 à 0,028 ampère pendant le même temps.

Une pile formée d'une lame de charbon plongeant dans une solution étendue de chlorure ferrique et d'une feuille de platine plon-

geant dans une solution concentrée du même sel contenue dans un vase poreux avait une force électromotrice de 0,1 volt.

Avec une lame de platine et une lame de graphite plongées toutes deux dans une solution de chlorure ferrique la force électromotrice n'était que de 0,01 volt.

Divers essais furent faits avec des piles à électrodes identiques, plongées dans des solutions de chlorure de fer. Deux fils de platine plongés dans des solutions de chlorure ferreux contenues dans deux vases distincts réunis par un siphon n'indiquèrent aucune différence de potentiel. En faisant passer de l'oxygène dans l'un des vases on obtenait un courant électrique. Mélangeant alors les deux solutions et faisant passer de l'oxygène dans l'autre vase on obtenait un courant de sens inverse. Avec une solution de chlorure ferreux dans l'un des vases et une solution de chlorure ferrique dans l'autre on avait une force électromotrice de 0,06 volt. En séparant les deux solutions par une paroi poreuse et faisant varier la concentration on arriva à une force électromotrice de 0,44 volt.

Des mesures furent également effectuées sur une pile dont les deux solutions étaient séparées par une membrane semi perméable de ferrocyanure de cuivre; il y avait 200 cm^3 de solution concentrée de chlorure ferrique et 500 cm^3 de chlorure ferreux ; les électrodes étaient en platine platiné; la solution de chlorure ferrique était traversée par un lent courant d'oxygène. Cette pile avait une force électromotrice de 0,32 volt ; elle donnait au début 0,16 ampère à travers une résistance de 1 ohm. Au bout de 6 jours de fonctionnement interrompu par quelque repos l'intensité du courant était de 0,03 ampère dans un circuit de décharge ne comprenant que l'ampèremètre. La quantité d'électricité débitée pendant cet essai était de 7,5 ampères-heure. A l'analyse on constata que 17,02 gr de fer étaient passés de l'état ferrique à l'état ferreux et que dans l'autre solution 16,72 gr de fer étaient passés de l'état ferreux à l'état ferrique.

Ces chiffrent indiquent un rendement électrique satisfaisant. En effet, comme un gramme de charbon est capable de faire passer à l'état de chlorure ferreux 52,187 gr de chlorure ferrique contenant 17,985 gr de fer, les 16,72 gr de fer passés de l'état ferreux à l'état ferrique dans la pile exigeraient 0,94857 gr de carbone pour la transformation inverse. Or en prenant 0,000031176 pour l'équivalent électrochimique du charbon un ampère-heure correspond à 0,11176 gr de charbon et 7,5 ampères-heure à 0,86683 gr.

En terminant, l'auteur fait observer que l'ensemble de ces expériences montre que le chlorure ferreux peut servir d'intermédiaire pour l'oxydation à froid du carbone au moyen de l'oxygène de l'air. Il en conclut que, comme il l'avait dit en 1888, la solution du problème de la transformation directe, à froid, de l'énergie potentielle du carbone en énergie électrique, n'est pas impossible et que les efforts des chercheurs doivent être dirigés en vue de trouver une substance agissant plus rapidement et plus énergiquement que le chlorure ferreux. J. B.

Génération directe de l'énergie électrique au moyen du charbon;

Par Charles.-J. Reed [1] et par Willard.-E. Case [2].

M. Ch.-J. Reed, qui a fait de nombreuses recherches sur ce sujet, ne partage pas l'opinion de M. Case. Dans une lettre publiée par *Electrical World and Engineer*, il écrit :

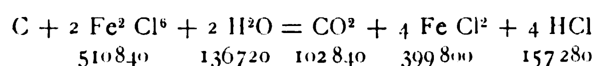
« Les intéressantes expériences de M. Case, loin de prouver la possibilité d'obtenir de l'énergie électrique à froid par oxydation galvanique du carbone, me paraissent plutôt démontrer l'impossibilité d'obtenir de l'énergie électrique du carbone par la réaction qu'il indique. L'examen de l'équation représentant cette réaction montre, d'abord que la propor-

(1) *Electrical World and Engineer*, t. XXXIV, p. 167, 29 juillet 1899.

(2) *Idem*, t. XXXIV, p. 205, 5 août 1899.

tion théorique d'énergie que l'on peut recueillir sous forme électrique est moindre que les 13 centièmes de la quantité d'énergie contenue dans le charbon consumé, ensuite que cette faible quantité d'énergie électrique ne provient pas du charbon, mais des autres substances prenant part à la réaction.

» Les quantités de chaleur mises en jeu dans cette réaction sont, d'après Naumann et en supposant que le gaz carbonique formé reste en solution :



$$\underset{51\,840}{C + 2\,Fe^2Cl^6} + \underset{136\,720}{2\,H^2O} = \underset{102\,840}{CO^2} + \underset{399\,800}{4\,Fe\,Cl^2} + \underset{157\,280}{4\,HCl}$$

» Le gaz carbonique CO^2 est formé par l'oxygène résultant de la décomposition de $2H^2O$. L'énergie requise pour séparer l'oxygène de $2H^2O$ surpasse celle dégagée dans l'oxydation du carbone de $136\,720 - 102\,840 = 33\,880$ calories. L'énergie libérée par la formation de 4HCl (157 280) et la dissolution de CO^2 (5 880) supplée au déficit, aux 111 040 calories requises par la réduction de $2Fe^2Cl^6$ à $4FeCl^2$ et laisse un excédent de 12 360 calories. Ces 12 360 calories fournies par la formation de 4HCl et la dissolution de CO^2 représentent l'énergie utilisable de la réaction. C'est seulement les $\frac{12\,360}{96\,960}$ ou les 12,7 centièmes de la quantité d'énergie produite par la combustion du carbone. La force électromotrice théorique maximum serait $\frac{12\,360}{4 \times 23\,240} = 0{,}133$ volt.

» Le fait que M. Case a obtenu expérimentalement une force électromotrice de 0,25 volt, soit le double de la force électromotrice théorique maximum, est une preuve concluante que la réaction chimique indiquée ci-dessus n'est pas la cause de la force électromotrice observée. Ce qui le prouve doublement c'est que M. Case a obtenu une force électromotrice plus grande encore quand il substituait au charbon une seconde électrode en platine; une pile à charbon, sans charbon, donnait donc de meilleurs résultats! »

M. Reed dit ensuite, après quelques critiques de médiocre importance, que d'après le mémoire de M. Case, il ne paraît pas certain que les pesées faites en vue de vérifier la réaction ci-dessus pour la quantité de CO^2 produite ne soient pas entachées d'erreur.

En répondant à ces critiques dans le numéro suivant de *Electrical World and Engineer*, M. Case fait remarquer que la force électromotrice de 0,25 volt et les forces électromotrices plus élevées n'ont été obtenues que lorsqu'il y avait du chlorure ferreux en présence de l'électrode de carbone, ce qui n'est pas en contradiction avec la réaction qu'il a indiquée puisque le contact d'une solution de chlorure ferreux et d'une solution de chlorure ferrique peut donner lieu à une force électromotrice de 0,44 volt comme l'a montré une expérience décrite dans son mémoire.

Il indique ensuite le procédé qui lui a servi à déterminer le poids de gaz carbonique dégagé dans la réaction du charbon sur le chlorure ferrique, procédé d'ailleurs bien correct et ne pouvant donner lieu aux erreurs que craint M. Reed.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur le champ magnétique à l'intérieur d'un cylindre creux parcouru par un courant;

Par W. de Nikolaieve [1].

« Il est facile de voir qu'il ne doit pas y avoir de *force magnétique* à l'intérieur d'un tube cylindrique creux indéfini, parcouru par un courant suivant les génératrices du cylin-

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 202, séance du 24 juillet 1899. Travail fait au laboratoire du prince Boris Galitzine, de l'Académie impériale des Sciences de Saint-Pétersbourg.

dre ; l'action est encore très faible à l'intérieur d'un tel cylindre (*courant tubulaire*) de longueur finie, mais grande par rapport au diamètre du cylindre. Mais l'expérience a montré qu'un pôle magnétique placé à l'intérieur d'un courant tubulaire subit un *couple magnétique*.

» L'appareil se compose essentiellement

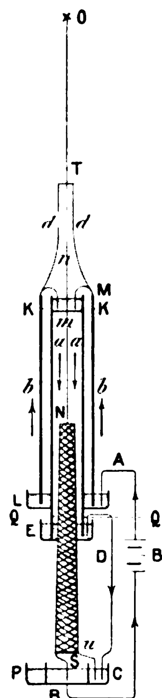


Fig. 1.

de deux tubes métalliques *aa*, *bb* (fig. 1) formant deux courants tubulaires de même axe, et d'un électro-aimant NS (tige de fer entouré d'un courant hélicoïdal montant de *u* en N, puis descendant de N en S le long de la tige). Chacune de ces trois parties : tube *aa*, tube *bb* et électro NS, peut tourner, indépendamment des deux autres, autour de l'axe commun. Le tube extérieur *bb* porte trois tiges *d* réunies par un plateau T, qui est muni d'un fil de suspension OT et porte, en dessous, les crochets permettant de suspendre les tubes *aa* et *bb*. L'électro peut tourner librement autour du fil de suspension *m*, ou bien il est lié avec le tube *aa* et peut alors tourner autour du fil supérieur *n*. Quatre godets K, L, E, P, remplis de mercure, constituent quatre contacts liquides qui permettent aux tubes et à l'électro de tourner jusqu'à ce que les couples de torsion des fils équilibrent les couples magnétiques.

» On envoie d'abord le courant électrique dans le circuit AQDCRBA, ***les tubes a et b étant exclus du circuit électrique***. On constate que, dans ces conditions, l'électro reste immobile comme les tubes. En second lieu, on envoie le courant dans les tubes *a* et *b* suivant le circuit A*b*MK*a*QA, *après avoir relié invariablement l'électro* NS *avec le tube aa*. Dans ces conditions, on observe que l'électro lié à *a* entre en rotation en même temps que le tube *b* tourne dans le sens opposé. Comme le courant tubulaire *aa* est invariablement lié à l'électro NS, il faut admettre qu'il ne peut agir sur NS et que la rotation du pôle N est due à un couple magnétique produit par le courant tubulaire *bb* [1].

» Tout se passe comme si les champs magnétiques des courants linéaires longeant les génératrices des tubes *aa* et *bb* subsistaient indépendamment les uns des autres, bien qu'il n'y ait pas de force magnétique à l'intérieur des tubes. En tous cas, l'expérience montre qu'*il règne un couple magnétique à l'intérieur d'un courant tubulaire*. »

Disparition instantanée du phénomène de Kerr ;

Par H. Abraham et J. Lemoine [2].

« 1. Un milieu isotrope devient biréfringent sous l'action d'un champ électrique, c'est le

---

[1] Ce couple est égal et opposé au couple que peut exercer le courant tubulaire *aa*. Ces deux couples ont même moment que le couple fourni par un *courant-tige* de même intensité. Cela résulte de l'expérience suivante : l'électro reste immobile quand le fil CD est démonté et quand l'extrémité *u* du courant de l'électro est reliée avec le godet D. Or, dans les mêmes conditions, l'électro reste encore immobile si l'on remplace les courants tubulaires par deux *courants-tiges*.

[2] *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 206, séance du 24 juillet 1899. Travail fait au laboratoire de Physique de l'École Normale supérieure.

phénomène de Kerr. Est-ce une action instantanée? Ou bien, au contraire, la biréfringence n'apparaît-elle et ne disparaît-elle qu'avec un certain retard par rapport à l'établissement ou à la suppression du champ électrique?

» M. Blondlot [1] a établi, en employant une méthode de miroir tournant, que ce retard, s'il existe, ne peut dépasser $\frac{1}{40\,000}$ de seconde.

» Une méthode différente nous a montré que cette limite pouvait être beaucoup reculée.

» Dans cette première Communication nous nous occupons seulement de ce qui se passe lors de la suppression du champ électrique.

» 2. Un condensateur K, formé de deux lames de laiton parallèles (longueur, 18 cm; largeur, 3 cm), distantes de 3 mm, est immergé dans une cuve de sulfure de carbone [2]. Ses électrodes sont réunies aux pôles P d'un transformateur à haut voltage.

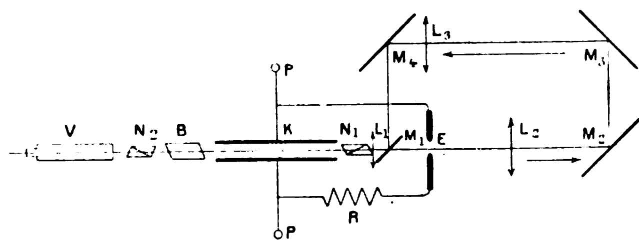


Fig. 2.

» Deux tiges de laiton E constituent un déflagrateur en relation avec les armatures du condensateur K par l'intermédiaire d'un circuit aussi court que possible (124 cm) comprenant un rhéostat à sulfate de cuivre R. L'étincelle du déflagrateur est énergiquement soufflée de manière à transformer le courant à haut voltage du transformateur en une série de décharges disruptives du condensateur K [3].

» C'est l'étincelle même de décharge du condensateur qui sert de source à la lumière : on ne pourrait faire aucune mesure en employant les sources de lumière usuelles.

» La lentille convergente L_1 rend le faisceau lumineux cylindrique pour lui faire traverser l'intervalle des lames du condensateur (miroir M_1 enlevé). D'autre part, en mettant en place le miroir M_1, le système des deux lentilles convergentes L_2, L_3 et des quatre miroirs plans M_2, M_3, M_4, M_1 ramènera au condensateur la lumière de l'étincelle.

» En déplaçant l'ensemble des deux miroirs M_2, M_3, on pourra faire varier la longueur du chemin $EM_2M_3M_4M_1$ que parcourt la lumière de l'étincelle avant d'arriver au condensateur K.

» 3. On mesure la biréfringence du diélectrique par la méthode photométrique d'analyse de la lumière elliptique [1]. Le condensateur est placé entre un polariseur N_1 à 45° sur le plan des lames, et un analyseur formé d'un biréfringent B parallèle au polariseur, suivi d'un nicol N_2. On observe avec un viseur V les deux images fournies par ce système. Par une rotation convenable du nicol N_2, on peut amener ces images à avoir même intensité : cette rotation mesure la différence de phase *moyenne* due au phénomène de Kerr pendant la durée du passage du flux lumineux dans le condensateur K.

» 4. Ce dispositif permet de mesurer l'intensité du phénomène de Kerr à des époques différentes. La première mesure, faite en enlevant le miroir M_1, donne la valeur du phénomène à l'instant même où éclate l'étincelle E, ou, du moins, au bout du temps qu'il faut à la lumière pour parcourir le chemin EK, qui est de 20 cm.

» Dans les mesures suivantes M_1 étant en place, on peut faire croître à volonté le temps qui s'écoule entre la production de l'étincelle et l'instant où la lumière traverse K : il n'y a qu'à reculer progressivement les miroirs M_2 M_3. De cette manière on arrive, en quelque sorte, à construire la courbe du phénomène en fonction du temps; un retard de 1 m cor-

(1) Blondlot, *Journal de Physique*, t. VII, p. 91; 1888.

(2) J. Lemoine, *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 835, 1896.

(3) H. Abraham, *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 991, 1899.

(1) Mascart, *Optique*, t. II, p. 66.

respondant à un trois cent millionième de seconde.

» 5. Voici les résultats d'une expérience :

Chemin parcouru. cm	Rotation du nicol. o
20	17,3
100	8,7
400 et au delà	non mesurable

» La comparaison de ces mesures montre que, pour trouver le phénomène électro-optique réduit de moitié, il suffit que la lumière arrive avec un retard de 80 cm, c'est-à-dire de *un quatre cent millionième de seconde*. Ce temps est *dix mille fois* plus faible que la limite trouvée autrefois par M. Blondlot.

Effet d'une fente sur les ondes hertziennes ;

Par H. Waitz [1].

La fente est perpendiculaire au côté du résonateur rectangulaire sur lequel est intercalé un électromètre de Bjerknes, le milieu de la fente est sur la même verticale que le centre du rectangle : la distance entre la fente et le résonateur est comprise entre 5 et 10 cm. L'excitateur est un excitateur cylindrique de Hertz, ayant 56 cm de longueur, dont l'axe reste toujours perpendiculaire à la longueur de la fente, l'étincelle en face du milieu de la fente.

L'énergie électrique qui passe à travers la fente est mesurée par la déviation obtenue sur l'électromètre, en faisant fonctionner la bobine qui alimente l'excitateur pendant le même temps à chaque expérience, un peu moins que la durée d'une oscillation de l'aiguille de l'électromètre.

M. Waitz trouve comme M. Latrille qu'on n'obtient aucune élongation quand la fente est parallèle à l'excitateur ; au contraire, quand les deux directions sont rectangulaires la quantité d'énergie qui passe à travers la fente est maxima. Mais tandis que M. Latrille constate seulement une augmentation de cette quantité d'énergie avec la longueur de la fente. M. Waitz a trouvé que l'élongation de l'électromètre augmente quand on interpose la fente entre l'excitateur et le résonateur et que cette augmentation passe par un maximum pour une longueur déterminée de la fente. Ce maximum se produit quand la période propre de la fente est la même que celle du résonateur. Sur les bords de la fente se produit une onde stationnaire dont la longueur dépend des dimensions de la fente et le maximum a lieu quand cette longueur d'onde est égale à celle du système formé par le résonateur et par l'électromètre. Les expériences justifient cette explication. On observe le maximum d'élongation quand la longueur de la fente est de 50 cm et le minimum quand cette longueur est de 100 cm ; dans ce dernier cas, la fente vibre par moitié et il se forme un nœud de vibration en son milieu : l'électromètre se trouve dans la région d'un nœud dans le premier cas au contraire il se trouve dans la région d'un ventre. Si on déplace l'électromètre et le résonateur le long de la fente à laquelle on a donné la longueur de 100 cm ; l'élongation de l'aiguille varie aussi périodiquement et devient maxima quand le centre du résonateur se trouve, d'un côté ou de l'autre à 25 cm du milieu de la fente, en face d'un ventre de vibration, par conséquent. L'élongation s'annule aussi comme cela doit être quand on place en ces points des ponts métalliques sur les bords de la fente.

Quant à l'augmentation de l'élongation obtenue au moment de l'interposition de la fente, elle résulte de ce que l'électromètre est protégé alors contre l'action des oscillations à longue période de la bobine d'induction. Surtout si le fil du résonateur n'est pas très bon conducteur, les charges communiquées aux quadrants par ces oscillations ne disparaissent pas assez rapidement et provoquent des déviations de l'aiguille qui n'ont aucun rapport avec les ondes proprement dites.

M. L.

(1) *Wied. Ann.*, t. LXVI, p. 308-317, octobre 1898.

CORRESPONDANCE

La stérilisation de l'eau par l'ozone.

A propos de l'article que nous avons publié sous ce titre dans le numéro du 29 juillet de ce journal, nous recevons de M. Andréoli, cité dans cet article, la lettre suivante :

La stérilisation de l'eau n'est pas par elle-même un sujet du domaine de *L'Éclairage Électrique*, mais comme elle peut être effectuée par l'ozone électrostatique, je suis excusable si j'exprime mes vues sur la manière dont je comprends la transformation des eaux contaminées en eaux pures.

Mais, avant tout, je tiens essentiellement à bien établir et faire ressortir ce fait que je ne prétends nullement avoir résolu la question ou faire mieux que les autres. Depuis bien des mois je dirige des expériences quotidiennes d'ozonisation d'eaux parfois très impures, je dirai même, généralement très chargées de microorganismes et sur cette question primordiale, je me suis fait une théorie que je considère, à tort ou à raison, comme absolument rationnelle et vraie au point de vue bactériologique et sous le rapport du fonctionnement des appareils électriques qui produisent l'ozone.

Il est facile de s'exercer à stériliser une eau quelconque, toujours la même eau et d'arriver à des résultats satisfaisants. Tout consiste parfois à y mettre le prix, c'est-à-dire à ne pas regarder à 50 ou 80 watts de plus ou de moins par 1 000 litres. Mais quand même vous réussiriez à exterminer dans les prix doux les microbes de cette eau, rien ne dit que vous serez aussi heureux quand on vous demandera de traiter l'eau de la ville voisine qui est beaucoup plus contaminée.

C'est pourquoi, je me suis tracé un programme qui consiste à rechercher et à constater l'efficacité de l'ozone suivant le nombre et la nature des germes microbiens par lesquels l'eau est souillée, plus ou moins profondément.

Ces études, par conséquent, ne visent pas uniquement la destruction complète des microorganismes. Tant mieux si on y arrive; nous en prenons note et nous savons qu'avec un débit de tant de litres par minute telle ou telle eau dont chaque centimètre cube contient tant de microbes de telle ou telle espèce peut être stérilisée quand la dépense en énergie électrique est de tant de watts par mètre cube.

Quand la série des essais et des tâtonnements sera terminée, nous pourrons faire un travail de récapitulation et de contrôle, et nous saurons alors d'après le nombre de germes microbiens et leur nature plus ou moins résistante, et aussi d'après la proportion de matières organiques, que telle ou telle eau exige plus ou moins de watts par mètre cube pour que la purification en soit complète.

Je n'ai donc aucune prétention, comme semble le faire croire l'article du 29 juillet 1899 paru dans *L'Éclairage Électrique*, à stériliser l'eau à un prix moins élevé qu'à Lille. Il est impossible en effet de comparer les résultats que j'obtiens en traitant quelques mètres cubes d'eau artificiellement contaminée par de très nombreux germes microbiens résistants avec l'eau de Lille, qui n'est certainement pas aussi « méchante » qu'on veut nous le dire.

Ce n'est pas moi qui ai dit que le prix de 2 centimes par mètre cube rend la stérilisation de l'eau trop onéreuse, c'est M. Kemna, une autorité incontestable en matière d'eaux d'alimentation, qui, au Congrès de Liège, a affirmé que « le prix de 2 centimes est absolument prohibitif ».

« Ce n'est pas seulement le prix de l'ozone, a répondu le Dr Marmier; cela comprend aussi l'intérêt et l'amortissement du capital de l'usine ».

Et M. Kemna sans se laisser désarmer par cet argument, puisque l'intérêt du capital d'une petite usine ne peut pas influencer beaucoup le prix de l'ozonisation d'un mètre cube d'eau, a posé ceci en fait : « Tout ce qui dépasse *un centime* par mètre cube est inacceptable ; quand il s'agit de stériliser 40 000 mètres cubes d'eau ou davantage par jour cela représente des milliers de francs. »

Je citerai à ce propos la repartie du Dr Malvoz :

« S'il était établi qu'une ville aurait à débourser des milliers de francs, pour fournir de l'eau stérilisée à ses habitants, quand même les prix d'installation et de distribution seraient très supérieurs au produit de la vente de l'eau aux citoyens, cette ville, selon moi, ne devrait pas hésiter. Il ne faut pas refroidir l'enthousiasme des inventeurs en leur disant que tout prix qui dépasse celui de un centime pour stériliser un mètre cube d'eau devient prohibitif. Réservons-nous. Nous verrons. Quant à moi, s'il m'était démontré qu'une ville devrait payer même 5 centimes par mètre cube à prendre dans la poche

de contribuables riches, je voterai la dépense des deux mains ».

Puisque je suis en train de rectifier, je dirai que jamais je n'ai fait entendre que mon dispositif est plus économique que celui de MM. Marmier et Abraham.

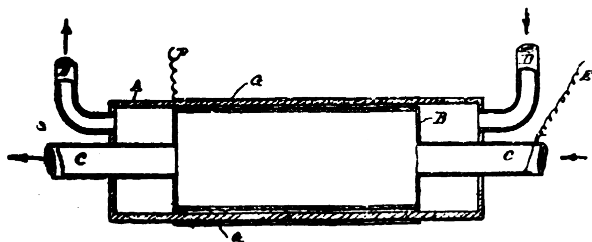
J'ai adopté pour mes expériences un dispositif quelconque, et si vous me demandez ce que j'en pense, ma réponse sera celle-ci :

J'ai été forcé par la disposition du local où je suis installé depuis quatre ans à me servir de ces cuves ; le dispositif est détestablement défectueux parce qu'il ne permet pas un contact intime de l'eau avec l'ozone. Si mauvais que soit l'outil, je m'en sers en me disant comme consolation que s'il me permet de faire d'assez bonne besogne, je suis sûr de pouvoir faire de la vraie stérilisation quand je me servirai du système que je veux réellement exploiter et que je n'ai décrit nulle part. Tel qu'il est j'estime que le nombre de watts absorbés actuellement par l'ozonisation de l'eau devrait être réduit de 40 p. 100 au moins, à cause de la perte d'ozone non absorbé.

Une autre rectification est celle qui a trait à l'ozoniseur Tisley qui, d'après le professeur Abraham, aurait été imité par moi dans la construction des appareils que j'ai brevetés en 1896 pour les abandonner presque aussitôt après.

Dans ces appareils qui fonctionnaient à haute tension l'élévation de la température était empêchée par une *double circulation d'eau indépendante dans chaque jeu d'électrodes*.

J'ai renoncé à la haute tension et m'en trouve fort bien, j'ai aussi renoncé à cette complication absurde d'une circulation d'eau à travers les électrodes creuses de mes ozoniseurs, mais je tiens essentiellement à prouver que je n'ai pas copié Tisley. Le professeur Abraham a eu tort de comparer mes ozoniseurs à *double* circulation indépendante au tube ozoniseur Tisley dans lequel l'eau ne passe que dans une électrode comme l'indique le dessin ci-dessous :



Voici comment j'en faisais la description dans la *Revue industrielle* du 23 décembre 1893, p. 508 :

« L'ozoniseur Tisley, qu'on appelle souvent l'ozoniseur Wills, qui lui-même est une imitation du premier ozoniseur Siemens, se compose d'un *tube extérieur en verre* A, d'un *cylindre en cuivre* B et d'une *feuille d'étain* C entourant le tube de verre ; un *courant d'eau circule* dans le cylindre de cuivre; au moyen des ouvertures C, C l'air entre dans le tube A et sort ozonisé par les tubes BB. »

L'incident Tisley est donc réglé définitivement. L'analyse chimique de l'eau de Lille ne montre pas qu'elle renferme une grande proportion de matières organiques, 0,014 gr (évaluées en acide oxalique) ou 0,00088 gr (en oxygène) ce n'est rien que de très ordinaire ; mais ce qui frappe dans le rapport de la Commission de Lille, c'est qu'il renferme une analyse très détaillée de l'eau, et que l'analyse bactériologique en est très maigre et très sommaire.

L'eau non ozonisée contenait, nous dit-on, 2200 germes par centimètre cube, dont *180 appartenant à des espèces liquéfiantes*. Plus loin on nous dit que l'eau *brute* a fourni en gélatine *3 960* germes dont *340* liquéfiants par centimètre cube, un troisième échantillon a fourni *1 170* germes, un quatrième *988*, et c'est là tout.

S'il faut dépenser 2 centimes par mètre cube pour stériliser cette eau assez anodine, combien coûtera la stérilisation d'eau dont chaque centimètre cube peut fournir cinq ou six fois plus de germes et surtout de germes réfractaires. Nous nous serions attendu à des données plus sérieuses, et il est fort bien que l'eau ozonisée ne renferme plus que quelques germes de *Bacillus subtilis*, mais ce qui ne peut que surprendre, c'est que le éminents bactériologues qui ont procédé à l'examen des échantillons n'ont pas jugé convenable de nous faire savoir combien l'eau de Lille contenait de germes de ce *Bacillus subtilis* avant qu'elle fût ozonisée. Y en avait-il 1 000? c'est peu probable. En tout cas pour juger de la destruction de ces bacilles si résistants, il ne suffit pas de vous dire combien il en reste, nous sommes en droit de demander combien il y en avait, c'est-à-dire combien on en a tué par l'ozone.

La curiosité est d'autant plus légitime que le rapport de la Commission est très catégorique comme le prouve cet extrait :

« La détermination des espèces ne laisse aucun doute sur les dangers incessants que peut provoquer l'ingestion de ces germes. On constate d'ailleurs, chaque année, d'assez nombreux cas de fièvre typhoïde dans la population lilloise, et il ne paraît pas douteux que la très grande mortalité infantile

doit être attribuée au moins pour une large part à la qualité défectueuse des eaux. »

Les rapporteurs ont oublié, et c'est très regrettable, de nous faire savoir quelles sont ces espèces microbiennes qui provoquent chaque année des cas de fièvre typhoïde. Ce n'est certainement pas le *Bacillus subtilis* ou bacille du foin qui est inoffensif.

Lorsque je publierai une nouvelle série de résultats obtenus avec plus ou moins de watts et un débit de circulation d'eau plus ou moins rapide, on y verra des masses d'eau qui contenaient 15 000, 20 000 et plus de *B. subtilis* par centimètre cube ont été stérilisées. D'autres fois, c'est le *B. phosphorescens liquefaciens*, le *B. Coli communis*, etc., etc., qui les contaminent toujours à forte dose, mais c'est toujours franc jeu. Il y avait tant de microbes dans l'eau, ils ont été détruits par l'ozone que donnait un nombre connu de watts-heure.

Comment des savants comme ceux qui composent la Commission de Lille ont-ils pu rédiger d'une façon aussi peu rigoureuse leur rapport sur la stérilisation de l'eau par l'ozone ?

Ils nous refusent pour ainsi dire les renseignements sur les espèces microbiennes qu'ils détruisent, nous ne savons à quel prix; ils le font de sorte qu'on est autorisé à appeler cette stérilisation un succès bactériologique tempéré par son prix de revient.

Quant à moi, je poursuis mes recherches, mais ne me pose pas encore sur les rangs. Je n'ai encore fait que 300 expériences sur 2 à 3 m³ d'eau chacune et il m'en faudra probablement faire encore une centaine. Mais quand je publierai un rapport il ne s'y trouvera aucune ambiguïté, aucune assertion contestable. M. de Parville, l'autre jour après avoir reproduit une partie du rapport de Lille, a pris sous sa responsabilité d'avancer que MM. Marmier et Abraham stérilisent l'eau à raison de *un centime* par mètre cube et pour amplifier et mieux faire comprendre aux lecteurs de *La Nature* la beauté du procédé, il a dit ce mot de la fin : *mille* litres d'eau stérilisée pour 1 centime.

Rien n'est moins scientifique que cette assertion. Le centime de Lille où le charbon est à bon marché triplera ou quintuplera dans les pays où le charbon est plus cher, et si l'eau est plus contaminée qu'à Lille, ce sera encore pire.

Pourquoi ne pas nous parler un langage clair et précis? Pourquoi ne pas nous dire combien de mètres cubes d'eau seront stérilisés par l'ozone que fournit un kilowatt-heure? Un centime par mètre cube d'eau stérilisée, c'est trop vague ; cela ne dit rien.

E. ANDREOLI.

CHRONIQUE

Essais de consommation de moteurs à gaz alimentés au gaz Mond. — Depuis quelques années, le Dr Mond préconise, en Angleterre, un procédé de production de gaz pauvre qui aurait l'avantage de fournir plus économiquement la force motrice que les procédés ordinaires. Une communication faite le 4 juillet dernier par M. T.-O. PATERSON au Congrès de « The incorporated Gas Institute » nous fournit les quelques renseignements qui suivent sur la composition du gaz Mond et la consommation d'un moteur alimenté par ce gaz :

Le gaz Mond contient environ 40 p. 100 de gaz combustibles; sa puissance calorifique est de 1 350 calories par mètre cube. Sa composition est :

Hydrogène	24,8
Méthane	2,3
Oxyde de cabone	13,2
Gaz carbonique	12,9
Azote	46,8
	100,0

Des essais récents sur un moteur de 150 chevaux indiqués ont montré que la pression effective moyenne, calculée d'après les diagrammes pris sur les deux cylindres du moteur, était respectivement de 5,747 kg et de 5,6 kg par cm².

La consommation de gaz était de 1,95 m³ par cheval indiqué et de 2,37 m³ par cheval au frein.

A ces consommations de gaz correspondaient des consommations de charbon au gazogène de 416 gr par cheval indiqué et de 503 gr par cheval au frein.

Sur l'emploi des accumulateurs pour la propulsion des navires. — L'an dernier nous donnions (*Écl. Élect.*, t. XVI, p. 423, 3 sept. 1898) l'analyse d'un article de M. C.-T. CHILD dans lequel celui-ci préconisait l'emploi de l'électricité pour la propulsion des torpilleurs, l'électricité ayant sur la vapeur deux avantages importants : absence de bruit et de

fumée pouvant déceler l'approche du torpilleur; plus grande maniabilité du navire dont tous les organes moteurs pourront être manœuvrés à distance, du poste même du commandant.

Dans un article publié dans *Engineering Magazine* de juin 1899 M. C.-T. Child revient sur cette question ; il y envisage la possibilité d'employer les accumulateurs non seulement sur les torpilleurs en raison des avantages que nous venons de rappeler, mais aussi sur les bateaux qui, comme les « ferryboats » ont des arrêts fréquents.

Pour ces derniers bateaux il semble en effet qu'il puisse y avoir économie à substituer l'électricité à la vapeur. Avec un moteur à vapeur il y a une perte considérable de combustible pour le maintien de la pression de la chaudière pendant les stationnements du bateau, stationnements dont les durées constituent généralement une fraction importante du temps du service; en outre, comme les arrêts sont ordinairement très fréquents, le bateau ne peut prendre sa vitesse maximum que pendant une faible portion de son parcours de sorte que la machine ne fonctionne le plus souvent que sous faible charge, condition évidemment désavantageuse au point de vue économique; enfin il y a lieu de tenir compte que les machines de faible puissance utilisées pour la propulsion des ferry-boats ont généralement un assez mauvais rendement. Avec un moteur électrique alimenté par une batterie on éviterait tout gaspillage d'énergie pendant les stationnements puisque le moteur serait toujours prêt à fonctionner; de plus la dépense d'énergie serait constamment à peu près proportionnelle à la puissance requise pour la propulsion du bateau, quelle que soit cette puissance.

Reste à savoir si le poids d'accumulateurs nécessaire et si la dépense d'établissement ne sont pas prohibitifs.

Le poids d'accumulateurs dépend nécessairement de la durée que l'on veut donner à la décharge. Les essais faits sur les accumulateurs utilisés sur les voitures automobiles montrent que pour une décharge en cinq heures il faut environ 32 à 37 kg d'accumulateurs et, en se basant sur des essais faits récemment à Londres sur une batterie de 600 kg d'une voiture de livraison, M. Child arrive aux chiffres suivants pour les poids par cheval et par cheval-heure pour différents régimes de décharge de cette batterie :

Durée de la décharge	Poids par cheval	Poids par cheval-heure
20 h	400 kg	20 kg
10	275	27,5
6	206	34,5
3	140	46,5
1	77,5	77,5

En admettant pour les moteurs, circuits, contrôleurs, etc., un poids de 9 kg par cheval, et en supposant un rendement de l'installation de 80 p. 100, M. Child arrive aux chiffres suivants pour les poids totaux par cheval et par cheval-heure :

Durée du service	Poids par cheval	Poids par cheval-heure
20 h	510 kg	34 kg
10	332	36,3
6	265	47,6
3	184	71,6
1	106	106

Pour la propulsion par machine à vapeur, les poids de la machinerie rapportés à l'unité de puissance seraient de :

Durée du service	Poids par cheval	Poids par cheval-heure
20 h	47 kg	2,2 kg
10	36	3,6
6	31	5,4
3	28	9
1	26	26

Si l'on prend une durée de marche de 6 heures, durée normale de la décharge des batteries d'accumulateurs d'automobiles, on voit que pour la même puissance, le poids de la machinerie devrait être environ 6 fois plus grand avec l'électricité qu'avec la vapeur. Mais M. Child fait observer que, ainsi que nous le disions plus haut, la machinerie des ferry-boats a un assez mauvais rendement et que la différence n'est pas alors aussi grande que l'indiquent les chiffres précédents. Il estime que la machinerie d'un des ferry-boats qui font le service entre New-York et Jersey-City, d'une puissance de 1 500 chevaux indiqués et d'un poids de 60 à 70 tonnes, pourrait être remplacée avantageusement par un équipement électrique de 80 tonnes, dont 72 tonnes d'accumulateurs et 8 tonnes de moteurs et accessoires.

Quant au prix de revient d'un ferry-boat équipé électriquement, M. Child l'estime de 250 000 à 300 000 fr, soit environ moitié en plus du prix de revient, 187 500 fr, d'un ferry-boat à vapeur. Mais suivant l'auteur, cette augmentation des frais d'établissement se trouverait rapidement amortie par

l'économie résultant de la diminution des frais d'entretien du navire dont la coque n'aurait plus à subir les trépidations si nuisibles auxquelles donnent lieu les machines à vapeur, et surtout par l'économie dans la consommation de charbon, évaluée à au moins de quatre tonnes par jour en supposant l'électricité nécessaire à la charge des accumulateurs produite par une usine fonctionnant toujours à pleine charge.

Nous ne pouvons discuter les chiffres relatifs à l'exploitation donnés par M. Child, ne connaissant qu'imparfaitement les conditions du service des ferry-boats de New-York. Nous devons dire, toutefois que malgré leur poids considérable d'accumulateurs et leur prix de revient élevé, il ne serait pas surprenant que, conformément à la conclusion de l'auteur, les ferry-boats électriques soient réellement plus économiques que les ferry-boats à vapeur. Nous savons en effet que la question de substitution de la propulsion électrique à la propulsion à vapeur sur les bateaux-mouches parisiens a été étudiée sérieusement et qu'après cette étude, une compagnie a demandé l'autorisation d'établir un service électrique dans la partie aval de Paris. Il est vrai que la compagnie compte tirer une partie de ses bénéfices de la vente de l'énergie à la navigation électrique de plaisance qui ne manquerait pas de se développer si des facilités de ravitaillement lui étaient offertes.

Rappelons à propos de l'article de M. Child qu'une solution un peu différente de la sienne a été proposée il y a plus d'un an dans *The Electrical World* pour la propulsion électrique des ferry-boats. Cette solution consistait (voir *Écl. Élect.*, t. XV, p. 131, 16 avril 1898) à installer une machine à vapeur de puissance moitié moindre que celle ordinairement installée, et, en même temps, une batterie d'accumulateurs et un moteur électrique de même puissance. La machine à vapeur fonctionnerait constamment sous pleine charge : pendant les stationnements, elle chargerait la batterie; pendant la marche, elle actionnerait le bateau, la batterie fournissant l'excédent de puissance requise pour la marche à grande vitesse. *A priori*, ce mode de propulsion mixte semble devoir être plus économique que la propulsion par la vapeur seule. Il aurait sur la propulsion par l'électricité seule l'avantage de n'exiger qu'une batterie de faible poids, puisque cette batterie ne fonctionnerait que d'une façon intermittente et dans d'excellentes conditions de rendement; il est vrai que la consommation du charbon par unité d'énergie utilisée pourrait alors être plus élevée que dans les cas d'une propulsion purement électrique.

Cuivrage galvanique de la fonte. — M. E.-L. Dessole revendique, dans un brevet anglais récemment publié (brevet n° 10 317, déposé le 16 mai 1899, accepté le 24 juin 1899) la propriété du procédé suivant :

La couche d'oxyde recouvrant l'objet en fonte fondue qu'il s'agit de cuivrer est enlevée soit au moyen d'un bain acide, soit au moyen d'un jet de sable lancé par de l'air ou de la vapeur sous pression. L'objet est ensuite limé et ciselé puis recouvert d'une mince couche de cuivre électrolytique dans un bain alcalin. On fait alors disparaître les irrégularités de la surface telles que fissures et trous en les remplissant d'un alliage fusible : la couche de cuivre préalablement déposée assure une adhésion de l'alliage beaucoup plus grande que si l'opération s'était faite sur la fonte brute. Cela fait, on ébarbe les parties remplies d'alliage et on recouvre l'objet d'une seconde couche de cuivre toujours par électrolyse dans un bain alcalin. On porte enfin l'objet dans un bain acide de sulfate de cuivre et on le recouvre par électrolyse d'une troisième couche de cuivre d'épaisseur convenable.

Dans le but de réduire le temps nécessaire à l'obtention de l'épaisseur requise l'inventeur emploie un appareil électrolytique dans lequel le liquide est constamment animé d'un mouvement rapide, l'agitation de l'électrolyte permettant, comme on l'a reconnu depuis longtemps, d'employer de grandes densités de courant (jusqu'à 10 ampères par décimètre carré de cathode) sans que le dépôt cesse d'être adhérent. Pour obtenir ce brassage, l'électrolyte qui s'écoule par un trop-plein placé à la partie supérieure de la cuve électrolytique est refoulé par une pompe dans un réservoir placé à une certaine hauteur au-dessus de la cuve ; il est ramené dans la cuve par un tube aboutissant inférieurement à une série de tubes enroulés autour de l'objet à cuivrer et percés de petits trous ; l'électrolyte s'échappe de ces trous sous forme de filets liquides qui vont frapper l'objet et empêchent ainsi l'accumulation de l'hydrogène sur les parties saillantes de cet objet. Comme le cuivrage en bain alcalin exige que le bain soit à une température supérieure à la température ambiante, on chauffe l'électrolyte au moyen d'un serpentin à vapeur placé dans le récipient où s'écoule le liquide sortant de la cuve.

Sur les applications possibles de la télégraphie dite sans fils. — M. A. Turpain, dont les importants travaux sur les ondes hertziennes ont été signalés l'an dernier dans ce journal, nous adresse la note suivante sur les applications de ces ondes à la télégraphie :

Lorsqu'on prononce aujourd'hui le mot de télégraphie l'esprit se reporte aussitôt à cette merveilleuse application de l'électricité qui permet à toute heure le transport de la pensée d'une rive à l'autre des océans. Bien des gens s'imaginent à tort que les expériences de Boulogne sont le prélude d'une nouvelle télégraphie et que les essais faits sur de petites distances vont bientôt permettre l'échange de télégrammes entre Brest et New-York, San Francisco et Yokohama, sans l'interposition d'aucun conducteur.

Plus modestes avaient été nos devanciers qui le jour où ils rendaient pratiques sur des distances de 80 km la télégraphie optique ne l'avaient pas pour cela pompeusement décorée du nom de télégraphie sans fils.

Non seulement le public est amené à croire par l'emploi impropre des mots « télégraphie sans fils » que la suppression de tous les conducteurs télégraphiques n'est plus qu'une question de temps, de perfectionnements plus ou moins heureux, plus ou moins prochains, mais il s'est même trouvé des ingénieurs qui se sont illusionnés au point de décrire des dispositifs qu'ils supposent aptes à permettre la télégraphie et la téléphonie sans fils entre l'Amérique et l'Europe, au moyen de relais convenablement placés.

« Pourquoi, écrit avec assurance M. Guarini Foresio, au cours de la description d'un brevet, du sommet de la tour de New-York, n'envoie-t-on pas un faisceau de rayons à une tour ou une montagne des îles Bermudes d'où il sera ramené aux îles Açores et de là en Portugal, d'où il sera encore ramené en Espagne et de là à la tour Eiffel à Paris et de là à Londres, en plaçant, *le cas échéant*, des répétiteurs à ces stations intermédiaires ? »

En se servant des nombres mêmes calculés par M. Guarini-Foresio [1] les altitudes à donner aux antennes des postes intermédiaires varient entre 4 000 et 18 000 m.

En admettant même, ce qui est douteux, qu'il y ait économie à construire des sémaphores aussi élevés, au lieu d'établir des câbles sous-marins, deux raisons principales s'opposent à ce que la télégraphie sans fils par ondes hertziennes puisse s'effectuer entre des stations aussi éloignées.

La première est que les faisceaux d'ondes émis ne tardent pas, à mesure que croît la distance à laquelle ils doivent parvenir, à devenir coniques, abandonnant la forme cylindre que l'on se sera efforcé de leur donner. Dès lors la puissance du transmetteur devra augmenter en raison directe du carré de la distance à atteindre, et l'on se trouve obligé de supposer l'établissement de véritables usines électriques pour arriver à donner aux oscillateurs une puissance capable de porter utilement leur action à d'aussi grandes distances. Ne sait-on pas déjà que quelles que soient les précautions que l'on prend pour maintenir à grande distance en un faisceau parallèle l'émission d'une source ou lumineuse ou sonore, le faisceau ne tarde pas à devenir conique. Il en sera sans nul doute de même des oscillations électriques qui se rapprochent des ondes sonores par les grandes longueurs d'onde qu'elles présentent, et qui sont parentes des ondes lumineuses par la période du mouvement vibratoire qu'elles propagent.

Or les ondulations lumineuses hypothétiques sont de l'ordre du millième de millimètre et cependant les miroirs et les lentilles qui les concentrent n'arrivent pas à en assurer le parallélisme, passé 50 ou 60 km. Quelles difficultés n'éprouvera-t-on pas à concentrer les ondulations électriques qui affectent en moyenne de 50 à 60 centimètres de longueur ?

La seconde raison pour laquelle les ondes électriques émises par les radiateurs seront incapables d'actionner des récepteurs — fussent-ils encore plus sensibles — placés à d'aussi grandes distances, est due à l'absorption que les milieux interposés entre les deux appareils, l'air lui-même, ne manqueront pas de produire.

Il en est ainsi pour les ondes lumineuses : malgré tous les perfectionnements qu'on y a apporté nos phares sont bien incapables de porter leur lumière à des distances qui sont les moindres de celles que franchissent nos télégraphes.

En résumé, si l'on peut dire que les communications sans fils par ondes hertziennes sont pratiques sur de petites distances, il serait téméraire de prétendre qu'elles puissent sans l'aide d'aucun conducteur permettre l'échange de signaux à toute distance quelque grande soit elle.

[1] Transmission de l'énergie électrique par un fil et sans fil. — Guarini-Foresio, imprimerie Henri Poncelet, Liège, 1899, p. 12.

L'ingénieuse combinaison de M. Marconi risquerait, en négligeant le domaine des applications vraiment utiles et pratiques (communication entre les bateaux phares et la côte, entre les navires qui se rapprochent, entre les convois si nombreux aujourd'hui sur nos lignes ferrées, etc.) et qu'elle peut à très juste titre revendiquer comme sien, en prétendant s'appliquer à la télégraphie à toute distance, de se heurter à des insuccès certains.

Tel n'est d'ailleurs pas, nous le croyons du moins, le but que l'inventeur de la télégraphie dite sans fils se propose.

M. Marconi a fait preuve dans les divers essais qu'il a entrepris avec succès d'un jugement trop sûr, d'une trop grande sagacité tant dans le choix de ses dispositifs que dans celui des lieux où il a disposé ses appareils pour se laisser aller à quitter le domaine des réalités acquises pour entrer dans celui d'espoirs qui seraient des rêves. Loin de servir l'essor de cette application des ondes hertziennes, il risquerait alors d'en compromettre les utiles effets, en concentrant vainement des efforts coûteux à la recherche d'un problème dont la solution dépasse vraisemblablement les limites de ce qu'on peut légitimement attendre de la mise en œuvre des oscillations électriques.

Est-ce à dire que les oscillations hertziennes ne puissent être utilement employées dans la télégraphie courante? Évidemment non. Que l'on suppose un fil tendu entre deux stations, s'arrêtant aux postes intermédiaires et il est aisé de concevoir la possibilité d'assurer, grâce aux ondes électriques, la communication télégraphique simultanée entre les divers postes échelonnés sur le fil. Cette application nouvelle des ondes hertziennes [1], qui nous est propre, peut marquer, croyons-nous, un réel progrès dans la télégraphie courante, en permettant non pas de supprimer tout fil de communications, mais en réduisant ces fils à un nombre minimum.

A. T.

Fabrication industrielle du ferrosilicium au four électrique. — Depuis quelques années l'industrie métallurgique utilise avec succès des ferrosiliciums pour le finissage de l'acier ou pour l'obtention d'alliages spéciaux. Jusqu'ici ces ferrosiliciums étaient obtenus au haut fourneau, mais ce procédé de fabrication ne donnait que des ferrosiliciums contenant au plus 11 à 13 p. 100 de silicium. Le four électrique, qui a déjà donné à M. Moissan et à M. Lebeau les siliciures cristallisés FeSi et $FeSi^2$, permet au contraire de fabriquer industriellement des ferrosiliciums contenant jusqu'à 50 p. 100 de silicium comme l'a montré M. G. de Chalmot.

Le procédé de M. de Chalmot est aujourd'hui appliqué dans plusieurs usines américaines. Dans un article publié dans l'*American journal of Chemistry* et dont la *Revue industrielle* donne une traduction dans son numéro du 5 août, l'inventeur fournit sur les propriétés des ferrosiliciums obtenus par son procédé et sur la manière dont ce procédé est appliqué, les renseignements suivants :

Dans les alliages renfermant jusqu'à 46,5 p. 100, et probablement dans ceux qui en renferment jusqu'à 50 p. 100, le fer et le silicium se trouvent chimiquement combinés; le métal ne renferme ni fer libre, ni silicium libre. Au contraire, si l'on parvient à obtenir un métal renfermant plus de 50 p. 100 de silicium, l'excès de silicium se sépare sous forme de petits cristaux noirs.

Je ne parlerai ici que de la fabrication des alliages à 25-50 p. 100 de silicium.

Ces alliages paraissent consister en un mélange de deux composés distincts de fer et de silicium : le composé A, qui contient 25 p. 100, et le composé B, qui contient 50 p. 100 de silicium. Ces composés sont représentés respectivement par les formules Fe^3Si^2 et $FeSi^2$. L'un et l'autre ont été obtenus suffisamment purs pour l'analyse.

Lorsque des ferrosiliciums à 25-28 p. 100 de silicium sont abandonnés au refroidissement lent depuis l'état liquide, le composé A se sépare en cristaux très bien développés, dont quelques-uns atteignent 13 millimètres de longueur. Leurs éléments cristallographiques n'ont jamais été déterminés. On les obtient le plus facilement en partant d'un alliage à 26-27 p. 100 de silicium. Il est probable qu'une petite quantité de composé renfermant moins de 25 p. 100 de silicium suffit à empêcher la cristallisation du composé Fe^3Si^2.

Les siliciures de fer sont toujours cristallins; ils sont blancs ou gris. Le siliciure à 25-30 p. 100 se polit très bien et ressemble alors à l'argent, quoique sa teinte soit un peu plus sombre. Les ferrosiliciums à haute teneur sont les plus foncés. Le point

[1] Sur la multicommunication en télégraphie au moyen des oscillations électriques. (Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux, 23 juin 1898). — Recherches expérimentales sur les oscillations électriques, Paris. A. Hermann.

de fusion s'élève avec la teneur en silicium. Le siliciure à 26 p. 100 peut être fondu au creuset dans un four à bronze, bien qu'il exige une température plus élevée que le bronze même. Le siliciure à 32 p. 100 ne peut plus être fondu par ce moyen; mais il peut l'être encore au creuset dans un four soufflé. Quand aux siliciures à plus haute teneur, ils ne peuvent être fondus qu'au four électrique.

Les ferrosiliciums ne doivent pas être refondus au cubilot. Le silicium brûle, en effet, aussi facilement et même plus facilement que le coke, en sorte que le métal recueilli dans la poche de coulée renfermera moins de silicium que l'alliage primitif. C'est ainsi qu'un lot de ferrosilicium à 27 p. 100, livré à une fonderie, a perdu 5 p. 100 de silicium par simple fusion au cubilot. Si l'on coule un métal ainsi partiellement oxydé, la paroi du moule se trouve recouverte d'un enduit de silice gélatineuse (?), faiblement transparente, mais nettement élastique.

Les ferrosiliciums pauvres se moulent très facilement et donnent des pièces à arêtes bien découpées. A mesure que la proportion de silicium augmente, les lingots tendent à se fissurer par refroidissement. Les siliciures à 34-40 p. 100 donnent généralement des lingots souffleux, qui se fendent au refroidissement. On atténue un peu ce défaut en prolongeant le refroidissement autant que possible.

Tous ces siliciures ne sont que très peu magnétiques, et ceux qui renferment au delà de 30 p. 100 de silicium ne le sont plus du tout, ce qui indique nettement l'absence de fer libre. Leur densité diminue à mesure que la teneur en silicium augmente.

Les ferrosiliciums conduisent bien l'électricité et sont très durs. Ils sont d'autant plus cassants que leur teneur en silicium est élevée. Ils sont inaltérables à l'air et à l'eau. Les acides les attaquent difficilement, surtout s'ils ne sont pas pulvérisés. L'acide fluorhydrique fait exception, car il dissout très bien tous ces alliages. Les agents oxydants acides attaquent les ferrosiliciums d'autant moins facilement que leur teneur en silicium est plus élevée.

Les matières premières utilisées par la Willson Aluminium Company pour la production du ferrosilicium sont : un bon minerai de fer, du sable de rivière et un coke de qualité quelconque. Le sable de rivière contient un peu de manganèse et de titane. La qualité du minerai de fer peu être médiocre, tant que la principale impureté est la silice. Et, en fait, pour bien des raisons, ce genre de minerai est préférable à beaucoup d'autres. Après avoir essayé un grand nombre de fondants, on a fini par les rejeter tous, car ils diminuent toujours le rendement.

Les matières premières sont finement broyées, à l'exception de la silice qui doit être employée à l'état de sable grossier. En effet, grâce à sa faible densité, elle est facilement entraînée par un simple tirage du four. A la température du four électrique l'oxyde de carbone ne joue aucun rôle réducteur, et ce sont, en réalité, les particules solides de coke qui déterminent la réduction. Pour cette raison, le mélange doit être intime et les matières premières doivent être finement broyées.

A l'usine de Holcomb Rock, on utilise un four continu de mon invention. On le charge par le haut et le ferrosilicium est recueilli au trou de coulée. Ce type de four peut fonctionner sans arrêt pendant une semaine ou même davantage, et il suffit de quelques heures de travail pour le remettre en état.

Jusqu'ici, nous n'avons fabriqué le ferrosilicium que dans des fours de 150 chevaux électriques; mais en augmentant les dimensions, on peut utiliser 1 000 chevaux par four, ce qui réduit considérablement le prix de revient de l'alliage. Nos fours ne donnent que peu de poussière, et seulement lorsqu'ils sont ouverts. Ceci est un point important car la poussière de silice présente des inconvénients très sérieux. Pour ma part, j'ai vu la poussière de silice s'échapper d'un four ouvert, au point de recouvrir le sol de l'atelier d'une couche de 5 cm.

Pendant l'opération, l'alliage coule dans le creuset du four et peut être recueilli à intervalles réguliers au moyen d'un trou de coulée. Il se forme très peu de scorie si les matières premières sont mélangées en proportions convenables, et le métal que l'on coule est parfaitement homogène.

Il faut avoir soin d'employer toujours un excès de silice pour compenser la perte par volatilisation. Cet excès est d'ailleurs variable, et doit être beaucoup plus grand si l'on cherche à produire des alliages à haute teneur en silicium. La volatilisation de la silice correspondant à une perte d'énergie, la dépense de force motrice sera évidemment plus considérable, toutes proportions gardées, dans la fabrication des ferrosiliciums riches. En ce qui concerne notre propre fabrication, nous dépensons deux fois plus de force motrice pour les alliages à 35 p. 100 que pour les alliages à 25-27 p. 100. L'unité de silicium revient donc plus cher dans le premier cas.

En raison de leur plus grande pureté et de leur moindre volume, ces ferrosiliciums sont supérieurs à ceux que l'on prépare au haut fourneau; mais leur emploi n'est possible que si le genre d'application permet de payer plus cher l'unité de silicium.

Ces alliages résistent très bien aux agents d'oxydation acides et sont bons conducteurs de l'électricité. Ils constituent une matière première de prix assez bas pour la fabrication d'anodes, utilisables dans l'électrolyse des solutions aqueuses. Les bas numéros donnent de bons moulages et peuvent être utilisés pour la fonte d'objets d'art, de statuettes, etc. Le métal, après polissage est d'un très bel éclat.

Les numéros élevés pourraient peut-être remplacer l'aluminium dans l'application du procédé Goldschmidt, qui consiste à mélanger l'aluminium à une substance capable de fournir de l'oxygène et à enflammer le métal en un point. La réaction entre le métal et l'oxygène se propage dans toute la masse, et l'on réalise ainsi une température voisine de celle que donne l'arc électrique. Le silicium du ferrosilicium peut évidemment remplacer l'aluminium.

Fabrication du noir de fumée au moyen de l'acétylène. — On sait que le noir de fumée s'obtient par la combustion incomplète d'un grand nombre de substances telles que goudron, résidus de la distillation de la résine. etc. L'emploi du noir de fumée dans la fabrication des encres d'imprimerie, des cirages, des vernis noirs, des couleurs noires, etc. ont fait de cette fabrication une industrie très importante puisque l'Allemagne à elle seule en exporte chaque année plus d'un million de kilogrammes représentant une valeur d'au moins un million de francs.

Pour la plupart de ses applications il faut un noir de bonne qualité et celui que l'on préfère est le noir de lampe que l'on obtient généralement en faisant lécher des surfaces refroidies par des flammes éclairantes d'huile ou de gaz. La grande proportion de charbon que contient l'acétylène a fait songer immédiatement à utiliser ce gaz pour la préparation du noir. On a commencé par essayer des appareils employés depuis longtemps pour la production du noir de lampe, en particulier les appareils de Dreyer et de Thalwitzer qui consistent le premier en un tambour en fer à parois minces tournant autour d'un axe horizontal et refroidi intérieurement par un courant d'eau. le second en un disque métallique rotatif horizontal pourvu d'un rebord fortement saillant et également refroidi par un courant d'eau. Ces essais ne donnèrent pas de bons résultats. Par suite de sa légèreté de sa sécheresse et de sa nature flaconneuse le noir se répandait partout au lieu de tomber dans la trémie réceptrice après le raclage. D'ailleurs des difficultés se présentèrent dans le choix d'un brûleur convenable. Les becs ordinaires ronds en stéatite qui se comportent bien avec le gaz d'huile s'obstruaient complètement et rapidement par des dépôts charbonneux; ils devenaient incandescents, se fendaient et brûlaient. Les becs à fentes, les becs spéciaux pour éclairage à l'acétylène, les becs Bunsen ne donnèrent pas de meilleurs résultats.

Suivant M. Hubou on parviendrait à des résultats beaucoup plus satisfaisants en décomposant brusquement, sous l'action d'un fil incandescent, des mélanges d'air et d'acétylène comprimés à deux ou trois atmosphères : il y a explosion, mais la pression ne dépassant pas 25 atmosphères, cette explosion est rendue sans danger par l'emploi de cylindres d'acier capables de résister à 200 atmosphères. Toutefois il ne semble pas que ce procédé ait été encore employé sur une grande échelle.

D'autres essais ont été faits par M. Ludwig en faisant agir de l'acétylène sur des métaux finement divisés tels que platine spongieux, fer réduit, etc.

Mais jusqu'ici il semble que des résultats vraiment industriels aient été seulement obtenus par Berger et Wirth qui sont parvenus par la combustion de mélange d'acétylène et de gaz d'huile dans des proportions variables à produire différentes sortes de noir variant par leurs propriétés du meilleur noir de gaz d'huile au noir d'acétylène pur.

On voit par ces renseignements, empruntés à un article de M. G.-F. Jaubert publié par la *Chronique Industrielle* que si la fabrication du noir de fumée au moyen de l'acétylène n'est pas encore devenue pratique, de nombreux essais ont été tentés dans différentes voies et qu'il y a lieu d'espérer qu'ils aboutiront à des résultats permettant de donner à l'acétylène et par suite au carbure de calcium de nouveaux débouchés.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XX. Samedi 9 Septembre 1899 6e Année. — N° 36.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

MACHINE A VAPEUR VERTICALE A GRANDE VITESSE
BOULTE ET LARBODIÈRE
A DOUBLE EFFET ET A GRAISSAGE SOUS PRESSION

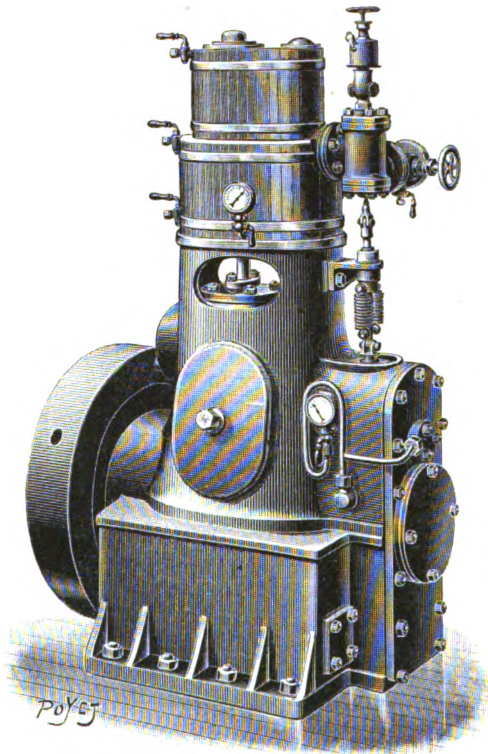
Les machines à vapeur à grande vitesse possèdent deux qualités essentielles qui ont fait le succès de ces machines dans les stations centrales électriques, où généralement l'emplacement dont on dispose est restreint ; ce sont, comme on sait, leur faible encombrement par unité de puissance et leur facilité d'accouplement direct avec les dynamos quelles doivent actionner. Par contre elles présentent deux inconvénients : elles exigent un graissage abondant et continu et, le plus souvent à simple effet, elles ont un rendement inférieur à celui des machines à marche lente.

Le premier de ces inconvénients a été éliminé, dès le début, en effectuant le graissage au moyen d'huile injectée sous pression entre les surfaces frottantes, et ce système de graissage, par suite des perfectionnements de détail apportés peu à peu par les constructeurs, est devenu aujourd'hui absolument pratique. Quant à l'augmentation du rendement elle n'a pu être obtenue que le jour où l'on est parvenu, malgré la grande vitesse linéaire du piston, à faire fonctionner ces machines à double effet. Toutefois ce dernier perfectionnement est de date relativement récente et il suffit de remonter à six ans seulement en arrière, en 1893, pour trouver la première machine à grande vitesse avec graissage sous pression et double effet, la machine Belliss, fort employée en Angleterre dans les stations génératrices d'électricité mais presque encore inconnue sur le continent.

La nouvelle machine à grande vitesse que construisent, en France, MM. Boulte et Larbodière est également à graissage sous pression et à double effet. Elle dérive en effet immédiatement de la machine Belliss que ces constructeurs ont, avec raison, prise comme modèle à cause de son excellent rendement. Elle en diffère toutefois par quelques perfectionnements de premier ordre dans la dispo-

sition de la canalisation d'huile sous pression, le fonctionnement de la pompe de compression, enfin la construction des différents organes, perfectionnements qui assurent un excellent graissage sans crainte de fuite ou de rupture et font de l'ensemble de la machine un appareil très condensé, simple et puissant par unité de poids.

Les figures 1 et 2 donnent une vue extérieure et une coupe d'une de ces machines. On voit par la première que, comme dans les autres machines à grande vitesse d'ailleurs, ses organes sont enfermés dans un bâti clos qui empêche les projections d'huile en même temps que l'entrée des poussières. La seconde montre, suivant la ligne verticale médiane, les deux pistons des cylindres à haute et basse pression dont la bielle actionne



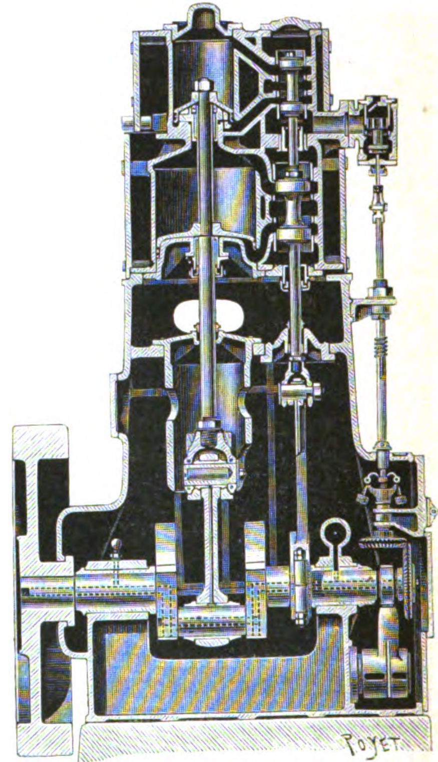


Fig. 1 et 2. — Vue extérieure et coupe d'une machine à grande vitesse Boulte et Larbodière, compound, à double effet et à graissage sous pression.

l'arbre moteur par manivelle équilibrée ; un peu à droite les deux tiroirs et l'excentrique qui les commande ; un peu plus à droite encore le régulateur d'admission à force centrifuge ; enfin, au-dessous du régulateur, la pompe qui envoie l'huile sous pression dans les coussinets de l'arbre, de la bielle et de l'excentrique par des canaux creusés à l'intérieur de ces différents organes et des tubes fixés le long de la bielle et de la barre d'excentrique.

La pompe à huile, dont la figure 3 donne une vue de face, offre une particularité à signaler : elle ne comporte ni clapets ni garnitures. Elle se compose d'un piston creux en bronze C et d'un corps de pompe en fonte D, d'une seule pièce, formant deux fourreaux cylindriques, l'un vertical dans lequel glisse le piston, l'autre horizontal emboîtant la pièce cylindrique E, de même axe XY, venu de fonte avec la bride F fixée par des boulons au bâti de la machine. Le corps de pompe est muni d'ouvertures G et la pièce qu'il emboîte d'ouvertures H ; il est entièrement

plongé dans l'huile qui est versée ou se rassemble dans une chambre ménagée à la partie inférieure du bâti.

Le fonctionnement de cette pompe est très simple. Le piston, entraîné par l'excentrique B

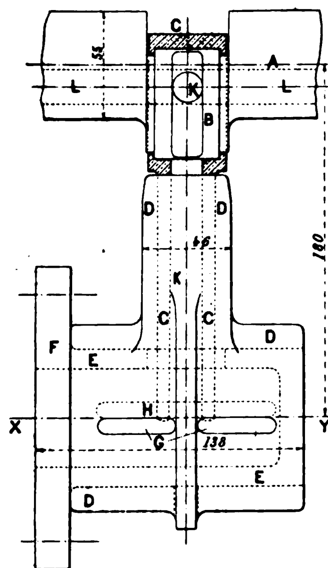


Fig. 3. — Vue de face de la pompe à huile.

A. arbre moteur.
B. tête du piston.
C. piston.
D. corps de pompe.
E. pièce fixe.
F. bride d'attache.
G. ouvertures de D.
H. ouvertures de E.
K. canal du piston.
L. canal de l'arbre.

de l'arbre A, exécute un mouvement de va-et-vient dans le corps de pompe en même temps qu'il fait tourner ce corps de pompe d'un certain angle, à droite puis à gauche de la verticale, autour de l'axe horizontal XY. Quand le piston est au bas de sa course, l'axe de la pompe est vertical et les ouvertures G et H ne coïncident pas. Lorsque, par suite du mouvement ascensionnel du piston, l'axe de la pompe est déplacé d'un certain côté de la verticale, les ouvertures G découvrent peu à peu les ouvertures H et l'huile se trouve aspirée à l'intérieur de la pompe jusqu'à ce que le piston soit au haut de sa course. Quand celui-ci est dans cette dernière position l'axe de la pompe est de nouveau vertical et les ouvertures G et H cessent d'être en coïncidence. Cette non-coïncidence se maintient tant que le piston descend, l'axe de la pompe étant, pendant cette phase du mouvement, du côté de la verticale opposé à celui où il se trouvait pendant l'ascension du piston. Par suite l'huile refoulée ne peut s'échapper par ces ouvertures et elle est forcée de se rendre, par l'intérieur K du piston, au canal L creusé dans l'âme de l'arbre-moteur, et qui la conduit aux divers organes à lubrifier.

Les figures 4 et 5, représentant la barre

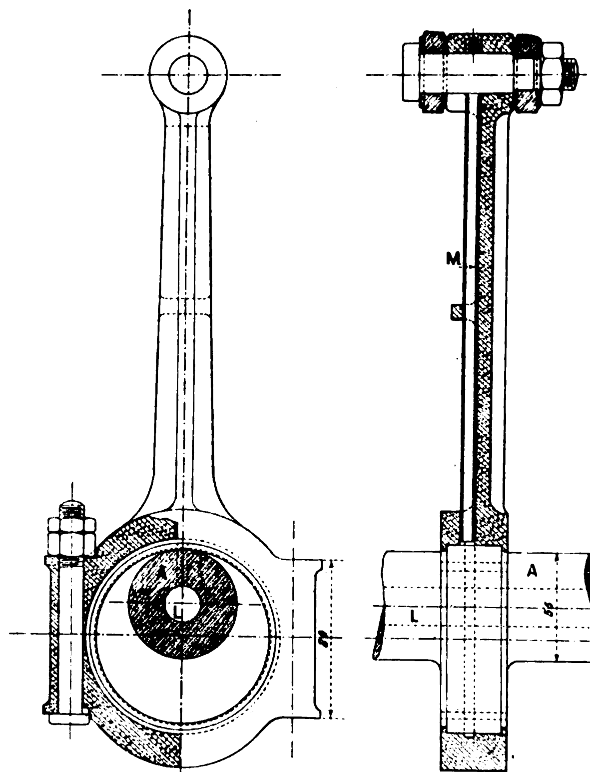


Fig. 4 et 5. — Vue de face et coupe de la barre d'excentrique.

L. canal de l'arbre. M. tube de cuivre.

d'excentrique de distribution, et les figures 6 et 7 représentant la bielle motrice montrent comment l'huile est amenée du canal L de l'arbre moteur au collier d'excentrique, à l'articulation de la barre d'excentrique et de la tige des tiroirs, aux coussinets de la tête de bielle et aux coussinets de l'articulation de cette bielle et de la tige des pistons.

Il est à remarquer que si le système de graissage est identique en principe à celui des machines Belliss que, ainsi que nous l'avons dit, MM. Boulte et Larbodière ont pris comme

point de départ, les dispositifs employés pour le réaliser ne sont pas les mêmes dans les deux types de machines. On voit en effet. par les figures 8 et 9, empruntées à une communication faite il y a deux ans par M. Alfred Morcom, ingénieur de la maison Belliss, à l'Institution of Mechanical Engineers et reproduite par *Engineering* dans les numéros des 6 et 13 août 1897, que dans les machines Belliss la distribution de l'huile sous pression se fait par une tuyauterie assez compliquée, de plus cette tuyauterie est soumise dans certaines de ses parties, principalement celles qui conduisent l'huile aux articulations des bielles motrices et de la barre d'excentrique, à des vibrations et même à des chocs assez violents qui compromettent l'étanchéité des joints et peuvent amener la rupture des tubes. Dans les machines Boulte et Larbodière, au contraire, la canalisation principale est constituée par le canal foré dans l'âme même de l'arbre moteur et la tuyauterie se réduit aux tubes M et N visibles sur les figures 5 et 7 amenant l'huile aux articulations ; l'un est logé dans l'âme même de la bielle, l'autre, solidement maintenu par des brides, fait corps avec la barre d'excentrique: ils ne peuvent donc avoir aucune vibration préjudiciable. La solidité de la canalisation se trouve ainsi assurée. Quant à son étanchéité elle est obtenue en munissant les extrémités des tubes M et N de dispositifs spéciaux qui tout en permettant la dilatation de ces tubes sous l'influence des variations de température empêchent néanmoins l'huile de s'échapper. Pour la barre d'excentrique, l'extrémité supérieure du tube M est fixée par emboutissement au coussinet de l'articulation tandis que la partie inférieure passe à frottement dur dans un canal creusé dans le collier d'excentrique. Pour la bielle motrice le tube N, vissé dans le coussinet d'articulation, porte à sa partie inférieure une plaque conique rapportée pressant contre les parois d'un logement de même forme creusé dans le coussinet de la manivelle et qui permet, par son élasticité, un certain jeu au tube.

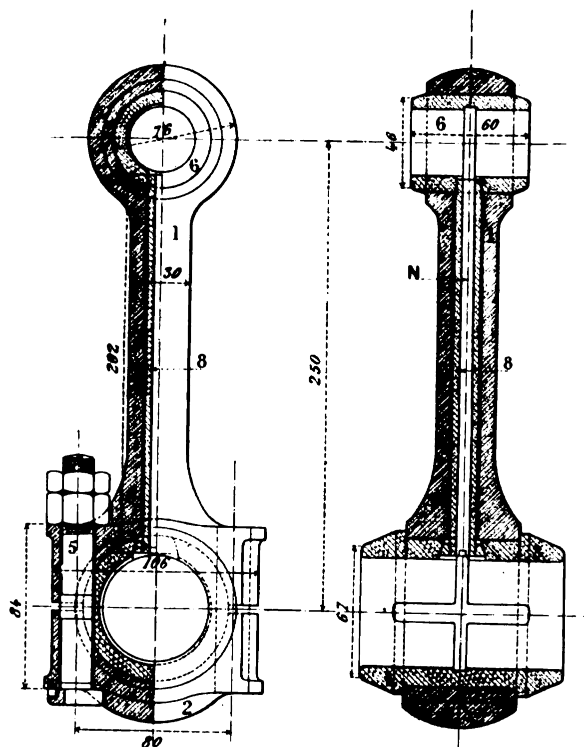


Fig. 6 et 7. — Vue de face et coupe de la bielle motrice.

La pompe de refoulement des machines Boulte et Larbodière est également plus simple et d'un fonctionnement plus sûr que celle des machines Belliss.

Quant aux autres détails qui caractérisent les machines Boulte et Larbodière, nous nous bornerons à dire que le régulateur est monté sur billes afin de réduire ses frottements et de le rendre plus sensible et que les tiroirs se meuvent dans des fourreaux rapportés qui permettent, en cas d'usure anormale, de remédier aux fuites de vapeur en changeant simplement ces fourreaux. Nous pouvons d'ailleurs nous résumer en disant que tous les organes de la machine ont été judicieusement étudiés en vue de permettre une marche rapide.

Reste maintenant la question de l'entretien et celle du rendement. La communication de M. Morcom nous fournit sur ces deux points des renseignements fort intéressants résul-

tant d'essais faits sur des machines Belliss et qui s'appliquent à fortiori aux machines Boulte et Larbodière.

En ce qui concerne l'entretien, l'opinion de M. Morcom est tout à fait catégorique ; il n'y a aucune usure des pièces frottantes. Cette opinion s'appuie sur l'examen de plusieurs centaines de machines d'une puissance de 15 à 500 chevaux construites dans les ateliers Belliss pendant ces dernières années ; en particulier une machine de 300 chevaux, construite pour les ateliers Siemens, de Charlton, en 1893, c'est-à-dire une des premières machines construites, ne montra trace d'usure après quatre ans de service continu, et bien qu'aucune de ses pièces n'ait été ajustée pendant toute cette période. L'entretien des machines de ce type se réduit donc à celui

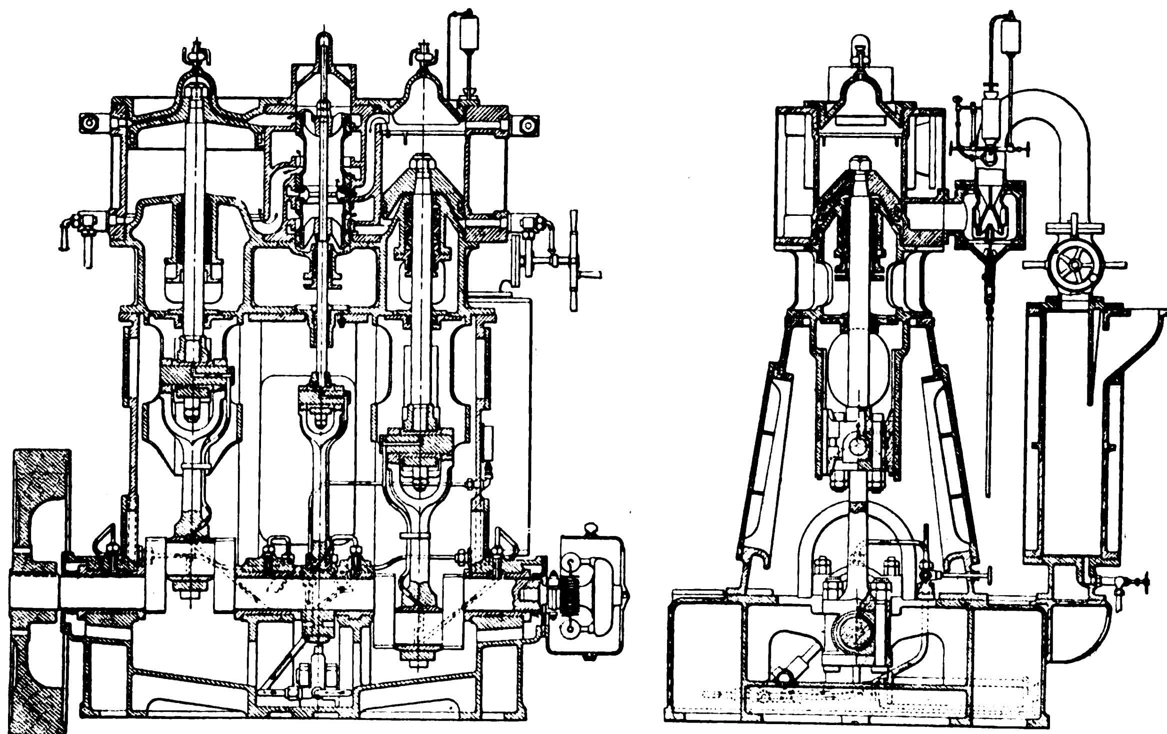


Fig. 8 et 9. — Machine à grande vitesse Belliss, compound à deux manivelles, à double effet et à graissage sous pression.

de la canalisation de l'huile sous pression et comme cet organe est, comme on a pu en juger par la description, pratiquement à l'abri de toute usure dans les machines Boulte et Larbodière, il y a lieu de penser que les dépenses d'entretien de ces machines seront toujours de très faible importance.

Quant au rendement, il résulte d'essais faits par le professeur Kennedy sur deux machines Belliss de 200 chevaux, l'une située à la station génératrice de Sunderland, et actionnant une dynamo Parker, l'autre à la station de Cheltenham et actionnant un alternateur Siemens, que le rendement mécanique atteint 95 à 96 p. 100 à pleine charge, descend à 93 ou 94 p. 100 pour la demi-charge et est encore de 83 à 89 p. 100 à quart de charge, et que la consommation de vapeur par cheval-heure *effectif* est en moyenne de 8,3 kg à pleine charge, 8,7 kg à demi-charge et 9 à 10 kg à quart de charge.

Les tableaux I et II donnent quelques-uns des chiffres relevés dans ces essais ; on y a fait figurer en même temps les résultats des mesures électriques faites sur la dynamo Parker et l'alternateur Siemens actionnés par les machines essayées, et de ces résultats on a déduit le rendement combiné de chacun

Tableau I. — *Essais d'une machine Belliss de 200 chevaux de la station de Sunderland. Dimensions des cylindres : 31 et 50,7 cm sur 22,8 cm.*

PUISSANCE indiquée. P_i	PUISSANCE au frein. P_f	RENDEMENT mécanique. P_f/P_i	CONSOMMATION D'EAU totale par heure.	CONSOMMATION D'EAU par cheval-heure indiqué.	CONSOMMATION D'EAU par cheval-heure effectif.	PUISSANCE électrique. P_e	RENDEMENT combiné. P_e/P_i	CONSOMMATION D'EAU par cheval-heure électrique.
chx	chx	P. 100.	kg	kg	kg	chx	P. 100.	kg
217,8	210	96,4	1 710	7,77	8,15			
207,8	200	96,25	1 648	7,93	8,16			
1873,	180	96,1	1 490	7,94	8,28	169	90,3	8,82
167	160	95,9	1 337	7,99	8,34	149,75	89,6	8,93
146,8	140	95,4	1 178	8,02	8,40	130,5	88,8	9,03
125,23	120	95	1 020	8,10	8,48	111	87,9	9,18
106	100	94,5	861	8,15	8,51	91	85,8	9,27
85,6	80	93,5	707	8,26	8,84	71,5	83,5	9,81
65,25	60	92	552	8,41	9,18	51,75	79,3	10,60
45,18	40	88,75	390	8,61	9,74	32	70,8	12,14
25	20	80	234	9,33	11,64			
15	10	66,75	154	10,03	15,40			

Tableau II. — *Essais d'une machine Belliss de 200 chevaux de la station de Cheltenham. Dimensions des cylindres : 30,4 et 50,7 cm sur 22,8.*

PUISSANCE indiquée. P_i	PUISSANCE au frein. P_f	RENDEMENT mécanique. P_f/P_i	CONSOMMATION D'EAU totale par heure.	CONSOMMATION D'EAU par cheval-heure indiqué.	CONSOMMATION D'EAU par cheval-heure effectif.
chx	chx	P. 100.	kg	kg	
188,5	180	95,5	1 490	7,94	8.31
168,5	160	95	1 340	7,96	8,40
148,5	140	94,5	1 185	7,99	8,47
128,3	120	93,5	1 030	8.03	8,58
108,3	100	92,4	885	8,18	8.85
88,3	80	90,6	730	8,23	9,10
68,3	60	87,8	578	8,47	9,63
48,3	40	82,8	428	8,82	10,73
28,3	20	70,8	270	9,62	13,53
8,3	0		120	14,13	

des groupes électrogènes ainsi que la consommation de vapeur par cheval-heure électrique. Les tableaux III et IV reproduisent quelques-uns des chiffres des tableaux précédents et font connaitre en outre la pression dans le cylindre de basse pression, le nombre de tours par minute et la consommation horaire totale de vapeur pour diverses charges. Les figures 10 et 11 traduisent graphiquement ces tableaux.

Sur la figure 10 on a figuré en même temps par une ligne ponctuée le rendement mécanique sous diverses charges d'une machine Willans, à simple effet, de 150 chevaux d'après des essais ayant fait l'objet d'une communication à l'Institution of Civil Engineers. On voit que le rendement mécanique de ces machines est notablement inférieur à celui des machines Belliss.

TABLEAU III. — *Essais d'une machine Belliss de 200 chevaux de la station de Sunderland.*
Dimensions des cylindres : 31 et 50,7 cm sur 22,8 cm.

	CHARGE				
	Maximum.	Normale.	Trois-Quarts.	Demi.	Quarts.
1°. — *Machine seule.*					
Pression moyenne dans le cylindre de basse pression (kg : cm²)	2,96	2,63	1,72	1,4	0,87
Nombre de tours par minute	364,6	365	364,5	363,9	363,8
Puissance moyenne indiquée (chevaux)	217,5	193,6	147,1	102,7	49,8
Puissance moyenne effective (chevaux)	209,5	186	140,6	97	44,5
Rendement mécanique (p. 100)	96,3	96,1	95,16	94,4	89,3
Consommation horaire d'eau (kg)	1 663	1 535	1 193	871	403
Poids d'eau par cheval-heure effectif (kg)	8,17	8,26	8,49	8,99	9,08
2°. — *Machine actionnant une dynamo Parker à courant continu.*					
Puissance moyenne dans le cylindre de basse pression (kg : cm²)	2,52	1,68	1,34	0,73	0,16
Nombre moyen de tours par minute	367,6	368,3	362,6	565,2	364,8
Puissance moyenne indiquée (chevaux)	186,7	129,4	98,2	54,1	11,38
Puissance moyenne électrique (chevaux)	168,6	115,1	83,8	40,9	
Rendement combiné (p. 100)	90,3	88,1	85,3	75,6	

TABLEAU IV. — *Essais d'une machine Belliss de 200 chevaux de la station de Cheltenham.*
Dimensions des cylindres : 30,4 et 58,7 cm sur 22,8 cm.

	CHARGE			
	Normale.	Trois-quarts.	Demi.	Quart.
1°. — *Machine seule.*				
Pression moyenne dans le cylindre à basse pression (kg : cm²)	2,52		1,43	0,73
Nombre moyen de tours par minute	365,5		361	361,5
Puissance moyenne indiquée (chevaux)	185,72		104,8	53,145
Puissance moyenne effective (chevaux)	176,76		97,4	44,22
Rendement mécanique (p. 100)	95,2		93	83,2
Consommation horaire d'eau (kg)	1 499		880	448
Poids d'eau par cheval-heure effectif (kg)	8,44		9,04	10,14
2°. — *Machine actionnant un alternateur Siemens.*				
Pression moyenne dans le cylindre à basse pression (kg : cm²)	1,98	1,61		
Nombre moyen de tours par minute	350,2	351		
Puissance moyenne indiquée (chevaux)	144,79	114,44		
Puissance moyenne effective (chevaux)	126,8	98,5		
Rendement combiné	87,5	86		

Cette différence de rendement montre la supériorité des machines à double effet sur les machines à simple effet. Elle pouvait être prévue car elle tient à deux causes d'ordre général : d'une part la moins bonne utilisation de la force élastique de la vapeur dans les

machines à simple effet que dans les autres, d'autre part les frottements de l'arbre contre ses coussinets plus difficiles à éviter dans les premières que dans les secondes.

Il est évident en effet que les condensations sont moins importantes dans les machines à double effet où les deux faces des pistons sont successivement chauffées par la vapeur que dans les machines à simple effet où une seule face du piston est en contact avec la vapeur.

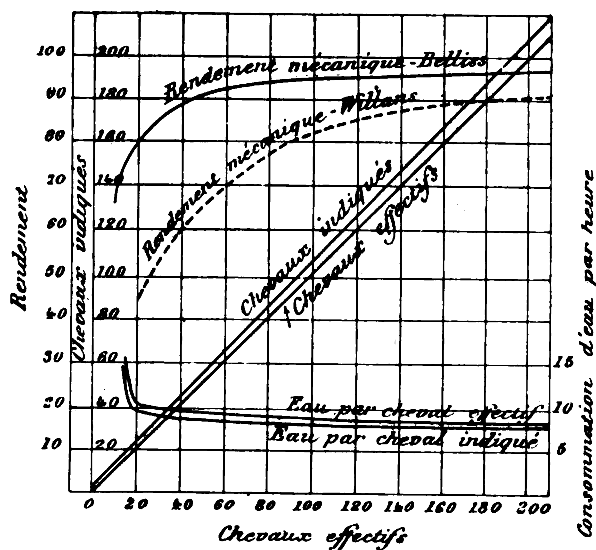


Fig. 10. — Essais d'une machine Belliss de 200 chevaux de la station de Sunderland.

De plus, à puissance égale, la surface extérieure des cylindres d'une machine à double effet est plus petite que celle des cylindres d'une machine à simple effet; d'où une nouvelle cause de diminution des condensations.

D'un autre côté la nécessité d'éviter des chocs trop violents dans la bielle à chaque changement de marche force à employer une compression plus forte dans les machines à simple effet que dans celles à double effet.

Quant à la diminution du frottement de l'arbre moteur sur ses coussinets qui résulte de la substitution du double effet au simple effet elle est peut-être moins évidente bien qu'elle soit prouvée par de nombreux essais. On peut l'expliquer de la manière suivante : Dans les machines à simple effet l'arbre porte sur ses coussinets constamment suivant la même génératrice; dans les machines à double effet le portage se fait alternativement et selon le sens du mouvement du piston suivant deux génératrices diamétralement opposées. Or on sait depuis longtemps par diverses expériences, en particulier celles de M. John Dewrance et celles de M. Beauchamp Tower [1] que la lubrification d'un arbre se fait beaucoup plus mal quand l'huile est amenée du côté où s'exerce la pression que lorsqu'elle est amenée du côté opposé; il semble donc qu'il

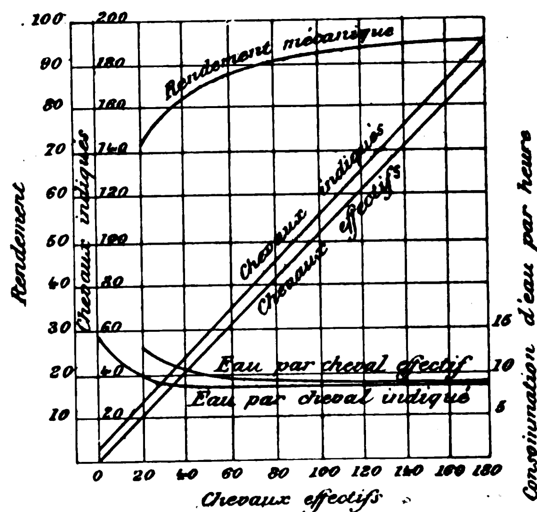


Fig. 11. — Essais d'une machine Belliss de 200 chevaux de la station de Cheltenham.

ne puisse pas se former de couche d'huile entre l'arbre et les coussinets le long des surfaces pressées. Par conséquent dans une machine à simple effet, il y aura toujours une portion des surfaces de contact de l'arbre et des coussinets qui sera mal lubrifiée, tandis que dans une machine à double effet une nappe d'huile se formera à la partie supérieure quand l'arbre sera pressé vers le bas et à la partie inférieure quand cet arbre sera pressé vers le haut, de sorte que l'on aura toujours une nappe d'huile continue entre les surfaces de l'arbre et des coussinets. Si l'on tient compte que d'après les expériences de M. H.-R. Thurston le frottement de l'arbre moteur sur ses coussinets intervient pour 47 p. 100 dans la perte

(1) Voir *Enginering*, t. LXIV, p. 169, 6 août 1897.

totale par frottements d'une machine (¹) et que cette perte totale est de 1/8 environ de l'énergie motrice à pleine charge, on conçoit que toute réduction, si faible qu'elle soit, du frottement de l'arbre moteur sur ses coussinets doive se traduire par une augmentation sensible du rendement.

Quoi qu'il en soit de la justesse de cette explication, un fait n'en reste pas moins acquis, c'est que les machines Belliss ont un

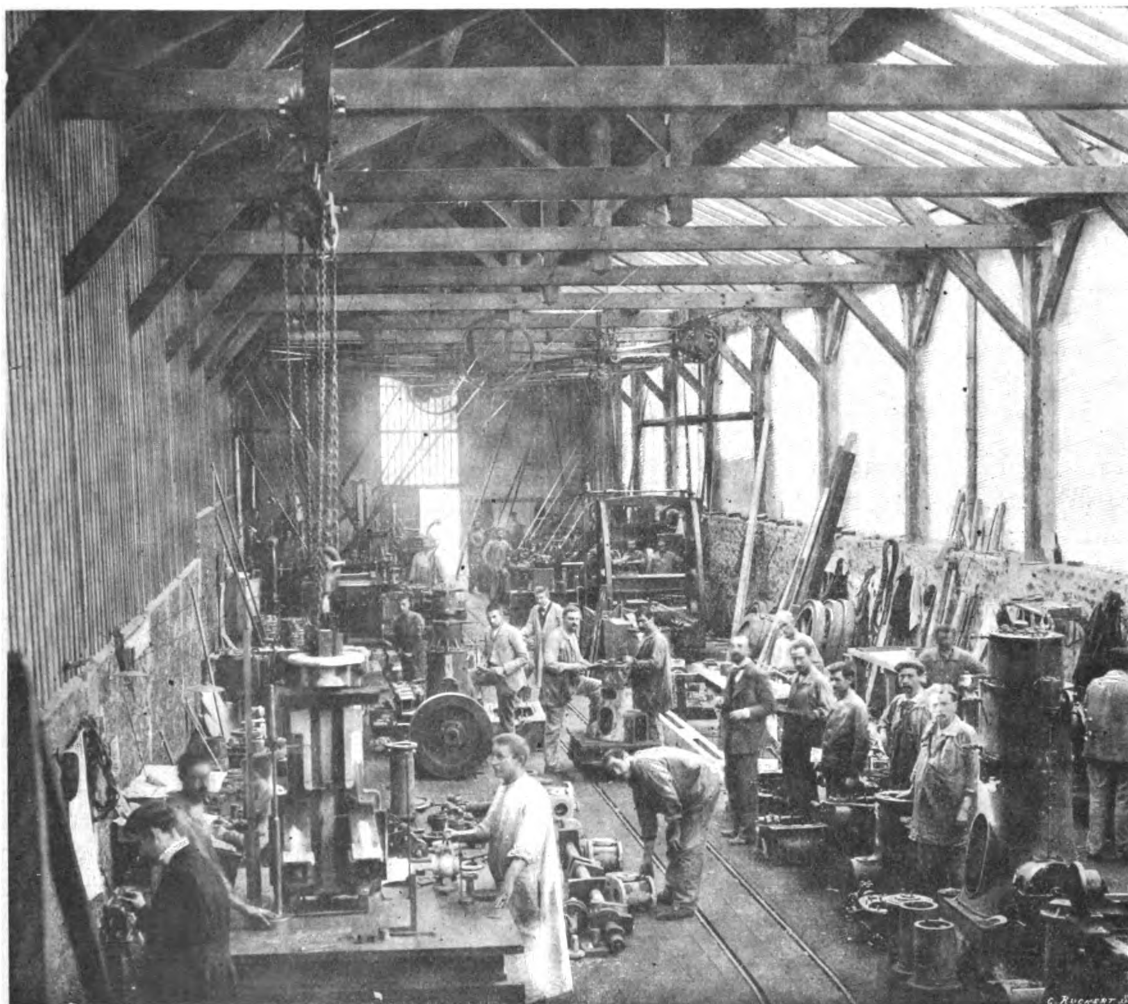


Fig. 12. — Vue des ateliers Boulte et Larbodière, à Aubervilliers.

excellent rendement mécanique sous charges très diverses et une consommation de vapeur par cheval *effectif* comparable à celle des meilleures machines à faible vitesse angulaire. Les essais faits par les constructeurs des machines qui nous occupent ont montré que celles-ci n'étaient pas inférieures aux machines Belliss sous ce rapport.

Ajoutons que dans leurs ateliers de construction d'Aubervilliers (fig. 12), aux portes de Paris, MM. Boulte et Larbodière ne construisent pas seulement le type à com-

...

(¹) Voici le détail de ces pertes (*Engineering*, 18 janvier 1889, p. 69).

Coussinets de l'arbre	47
Piston et tige	32,9
Manivelle	6,8
Articulation de la bielle	5,4
Régulateur	2,6
Collier d'excentrique	5,3

pound tandem que représentent les figures 1 et 2. Ce type n'est adopté que pour les machines de puissances comprises entre 20 et 100 chevaux (30, 40, 55 et 75 chevaux), machines dont la vitesse angulaire est de 460 à 400 tours par minute. Pour les machines plus puissantes (100, 150, 225, 300 et 400 chevaux) les cylindres de haute pression et de basse pression actionnent séparément deux manivelles décalées de 90° ; les vitesses angulaires de ces machines sont comprises entre 450 tours par minute pour les machines de 100 chevaux et 330 tours par minute pour celles de 400 chevaux. Pour les machines de 5, 10, 15 et 20 chevaux il n'y a au contraire qu'un seul cylindre ; la vitesse angulaire est un peu plus élevée : de 600 à 480 tours par minute.

Toutes ces machines sont construites par séries d'un modèle identique, suivant le système américain, avec pièces interchangeables par conséquent. Elles fonctionnent avec ou sans condenseur. Elles peuvent être construites, mais alors sur commande, avec triple et même quadruple expansion et avec deux ou trois lignes de cylindres. T. PAUSERT.

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

MACHINES A COURANT CONTINU [1]

Les moteurs et dynamos de faible puissance JOHNSON et LUNDELL [2] bien connus, surtout à cause de leur forme originale, présentent le grave inconvénient d'exiger un démontage complet des deux calottes hémisphériques pour permettre le remplacement de l'induit.

Dans un brevet récent [3], les inventeurs remédient à cet inconvénient en adaptant à leurs moteurs un dispositif admis universellement maintenant par les constructeurs des types dits cuirassés. Ce dispositif consiste dans l'emploi de paliers démontables analogues à ceux de M. Greœnwood, de l'Industrie Électrique de Genève, et de MM. Pickstone, Portheim et Peebles, que nous avons déjà signalés [4].

La nouvelle dynamo de MM. Johnson et Lundell est représentée en coupe par l'axe sur la figure 1 et en vue de côté et de face du côté du collecteur sur les figures 2 et 3.

Comme primitivement la carcasse inductrice est composée de deux parties identiques placées symétriquement et réunies par des oreilles EE et des boulons B_1 ; mais ces deux parties ne portent plus les paliers venus de fonte ou d'acier avec elle.

Le palier du côté opposé au collecteur est venu de fonte avec un anneau R, il n'est pas fixé à la carcasse inductrice extérieure, mais aux épanouissements polaires à l'aide de deux boulons B_4. Deux goujons B_5 fixés également dans les épanouissements polaires servent à centrer le support du palier ; les boulons et guides sont de préférence en métal magnétique.

Le corps du palier comporte en outre un support L fixé sur un des rails T à l'aide des boulons B_3 et des écrous B_2.

Le disque R est percé de deux trous l'un à la partie supérieure en O qui sert au passage des conducteurs conduisant le courant à la bobine inductrice, l'autre à la partie inférieure R_1 pour la ventilation de l'intérieur de la machine.

Le palier du côté du collecteur a une constitution analogue. Au disque R est fixée une pièce tronconique D dans laquelle on a ménagé, à la partie la plus basse, une ouver-

[1] r Voi *L'Éclairage Électrique* du 18 mars 1899, t. XVIII, p. 417.

[2] Brevet anglais n° 9365, 1892.

[3] Brevet anglais n° 8663, 6 figures. Déposé le 5 avril 1897, délivré le 2 avril 1898.

[4] Voir notamment nos articles sur les « Machines dynamo-électriques : machines à courant continu » *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 496, 11 septembre 1897, t. XIV, p. 367, 26 février 1898 ; t. XVIII, p. 301, 25 février 1899.

ture O_1 pour la ventilation, et à la partie supérieure une fenêtre D_1 avec volet de façon à pouvoir inspecter le collecteur à volonté.

Le palier proprement dit est, comme celui opposé au collecteur, en deux parties : l'une F_1 formant le corps du palier est fixée à la pièce D, l'autre F_2, sorte d'obturateur latéral, est fixée sur la première à l'aide des vis t_1 passant dans les oreilles *d*. Comme le palier du côté opposé au collecteur, le palier du côté du collecteur est muni d'un support L fixé au second rail T.

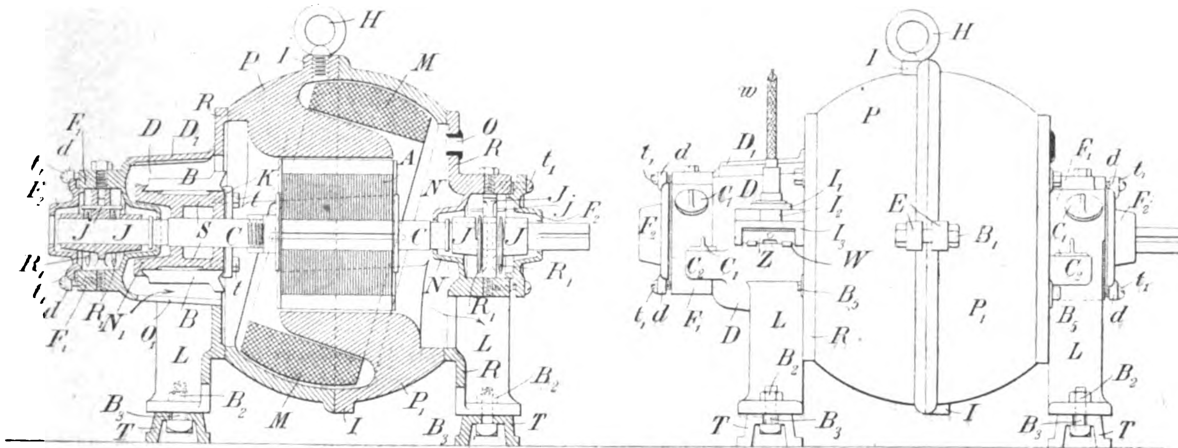


Fig. 1 et 2. — Coupe par l'axe et vue de côté d'un moteur Johnson et Lundell.

Le type de porte-balais en charbon adopté préférablement par MM. Johnson et Lundell

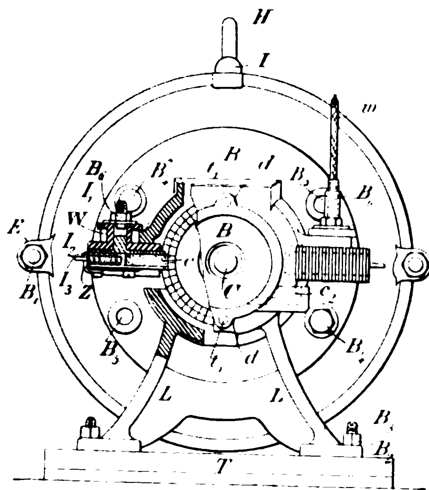


Fig. 3. — Vue de face du côté du collecteur d'un moteur Johnson et Lundell.

est un peu différent de celui des mêmes inventeurs que nous avons décrit récemment [1].

C'est un charbon C de forme rectangulaire placé dans une gaine où il est serré sur le collecteur par un ressort Z. La gaine est fixée après la pièce D elle-même et porte en même temps la borne de prise de courant.

La sortie de l'induit s'effectue simplement par le démontage du palier du côté opposé au collecteur.

Le brevet de M. Soames [1] se rapporte à un procédé de fixation et de centrage des tôles de la partie fixe d'une dynamo ou d'un moteur de type quelconque.

La carcasse du moteur (fig. 4 et 5) est formée d'un cylindre de fonte dont les bases démontables supportent les paliers non représentés sur la figure.

Les tôles annulaires sont montées sur un mandrin qu'on place ensuite dans la carcasse en fonte de façon à ce que l'axe de cette dernière coïncide avec celui du mandrin.

Le mandrin étant ainsi fixé et centré aux

(1) Voir notre article sur les « Machines dynamo-électriques : dynamos à courant continu » *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 417, 18 mars 1899.

(1) Brevet anglais n° 11701, 5 figures. Déposé le 11 mai 1897, délivré le 2 avril 1898.

lieu et place de la partie tournante, on coule dans l'espace laissé entre les tôles et la carcasse un alliage fusible quelconque qui fixe les tôles dans la position convenable.

L'anneau de tôles et la carcasse portent des

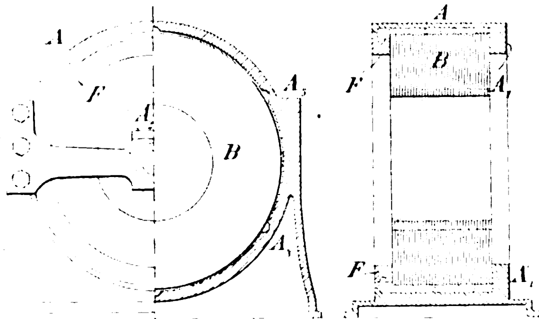


Fig. 4 et 5. — Coupes et vue d'un inducteur Soames à tôles fixées par métal fusible.

rainures pratiquées le long de quelques génératrices de façon à ce que le métal fusible en les remplissant empêche l'entraînement du paquet de tôles seul ou du paquet de tôles et du cylindre en métal fusible.

Le procédé de serrage de tôles employé par la Compagnie Westinghouse (¹) est analogue à celui de M. Nolan que nous avons décrit au début de cette année (²).

Comme dans celui-ci en effet s'il s'agit de

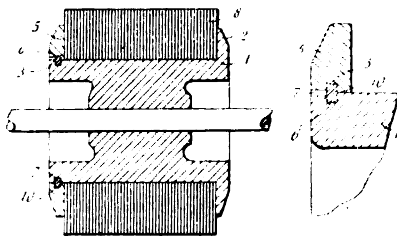


Fig. 6 et 7. — Procédé de serrage et de fixation des tôles d'un induit de la Compagnie Westinghouse.

la partie tournante d'une dynamo ou moteur, les tôles sont empilées sur un noyau cylindrique 1 (fig. 6 et 7) portant un rebord ou une joue 2 à l'une de ses extrémités.

Les tôles une fois empilées et pressées, une seconde joue 5 est placée sur le noyau. Celui-ci et la joue portent chacun une rainure 6 et 3 dans laquelle on coule un métal fusible quelconque à l'aide d'ouvertures pratiquées à cet effet.

L'anneau en métal fusible remplace donc celui en fer employé par M. Nolan.

Ce dispositif s'applique également aux

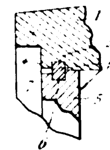


Fig. 8. — Procédé de serrage et de fixation des tôles d'une partie fixe d'une dynamo de la Compagnie Westinghouse.

tôles de la partie fixe d'une dynamo ou d'un moteur quelconque. La figure 8 se rapporte à ce dernier cas.

Pour faire varier la tension d'une dynamo tournant à vitesse constante, ou pour faire varier la vitesse d'un moteur alimenté sous potentiel constant, M. E. Cantono (¹) propose un dispositif identique à celui indiqué autrefois par M. Marcel Desprez et employé par lui dans les dynamos à courant continu à haute tension qui figuraient à l'exposition de 1889 et dont quelques types sont encore actuellement en service.

Ce dispositif consiste à rendre mobiles les épanouissements polaires d'une dynamo de façon à augmenter ou décroître l'entrefer à volonté.

Les figures 9 et 10 représentent l'application de ce système à une dynamo bipolaire du type Gramme supérieur. Le déplacement des deux pièces polaires A et B est obtenu en faisant jouer à celles-ci le rôle d'écrou mobile par rapport à une vis portant deux parties p et q filetées en sens contraire. Un volant R permet d'actionner cette vis.

(¹) Brevet anglais n° 16488, 4 figures. Déposé le 12 juillet 1897, délivré le 20 mai 1898. Date du dépôt en Amérique, 20 janvier 1897.

(²) Voir notre article « Machines dynamo-électriques : machines à courant continu », *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 241, 18 février 1899.

(¹) Brevet anglais n° 25245, 3 figures. Déposé le 30 octobre 1897, délivré le 8 octobre 1898.

La figure 11 se rapporte à un dispositif basé sur le même principe mais où l'éloignement ou le rapprochement de l'induit par rapport à l'inducteur est obtenu d'une façon plus originale.

Le moteur adopté comporte une couronne d'inducteurs dont les pièces polaires sont disposées dans un plan perpendiculaire à l'axe et devant laquelle se déplace l'induit qui se trouve ainsi attiré dans le sens de l'axe. Pour empêcher l'induit de se déplacer dans ce sens l'inventeur emploie un palier à

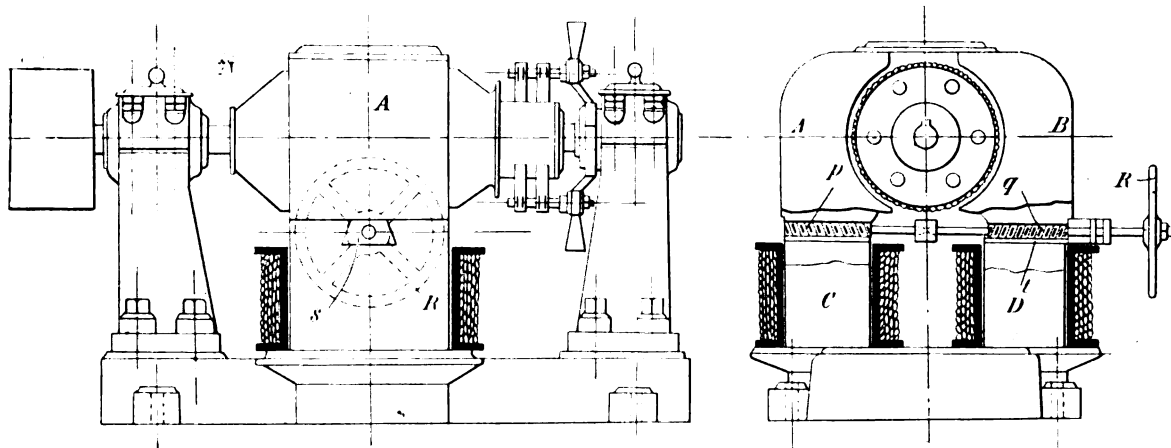


Fig. 9 et 10. — Vues et coupe d'une dynamo à entrefer réglable de Cantono.

billes vissé plus ou moins dans le support à l'aide du volant à oreilles r.

L'arbre porte à son extrémité un anneau l fixé sur lui et roulant sur les billes s_1, lesquelles s'appuient sur le fond c du palier.

En enfonçant plus ou moins le palier dans son support on règle les valeurs de l'entrefer et par suite de la tension aux bornes s'il s'agit d'une dynamo-génératrice, ou celle de la vitesse s'il s'agit d'un moteur.

Les perfectionnements que M. Wood [1] propose pour les dynamos et moteurs aussi bien à courant continu qu'alternatif, bien que d'une réalisation pratique assez difficile, ne manquent pas d'une certaine originalité.

Cet inventeur, pour diminuer les efforts magnétiques radiaux entre l'induit et l'inducteur, ou d'une façon générale entre la partie mobile et la partie fixe, en même temps que pour augmenter la surface de l'entrefer, a tout simplement l'idée de pratiquer sur les surfaces en regard de ces deux parties des gorges et des arêtes et de disposer l'ensemble de façon à ce que les arêtes de l'une des parties s'engagent dans les gorges

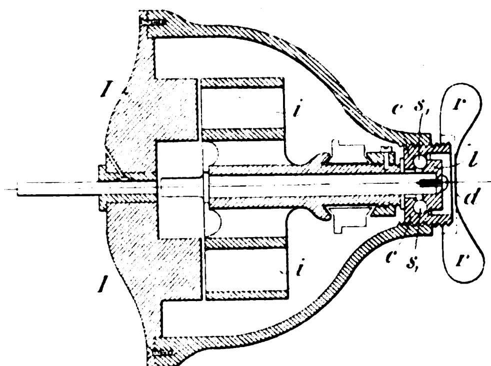


Fig. 11. — Coupe d'un moteur à induit disque et à entrefer réglable de Cantono.

de l'autre et réciproquement comme l'indiquent les figures 12 et 13.

Les gorges peuvent avoir une section de forme quelconque.

Ce dispositif permet de réduire à volonté ou tout au moins dans une certaine limite, la composante radiale de l'effort magnétique

(1) Brevet anglais n° 23 304, 2 figures. Déposé le 11 octobre 1897, délivré le 11 octobre 1898.

entre les deux parties. En désaxant la partie tournante à l'aide de paliers convenablement mobiles on peut, dit M. Wood, soulager en quelque sorte les pièces de l'induit par la diminution de l'entrefer en un endroit déter-

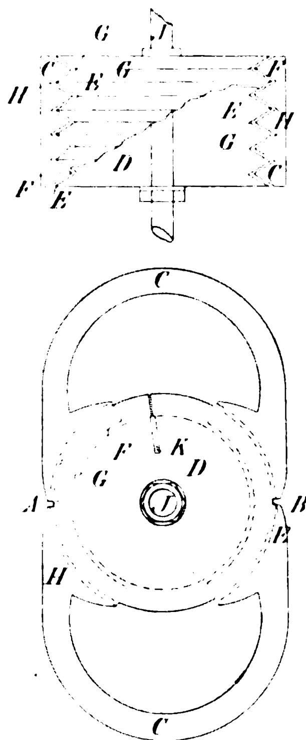


Fig. 12 et 13. — Vues d'un induit et d'un inducteur de dynamo Wood.

miné; ce procédé de la diminution de l'entrefer n'a rien de nouveau et a été déjà signalé et employé par beaucoup de constructeurs.

Le dispositif de M. Wood permet aussi de créer des efforts magnétiques dans le sens de l'axe, propriété qui peut avoir son avantage dans le cas d'appareils à axe vertical pour diminuer les pertes par frottements dans le pivot [1]. Avec les machines à axe horizontal les paliers doivent être prévus pour que les effets de poussée suivant l'axe n'occasionnent plus d'échauffement.

L'inventeur décrit également l'application de son dispositif aux induits à disque et la façon la plus commode d'opérer pour constituer l'induit et l'inducteur dans ce cas.

Revenons encore une fois aux machines du type à inducteur cuirassé. Le défaut principal de ces machines est d'être assez mal ventilées, il était donc tout naturel de penser à leur adjoindre un ventilateur. C'est ce que proposent une fois de plus, car la chose est loin d'être nouvelle, MM. P. Rosling et

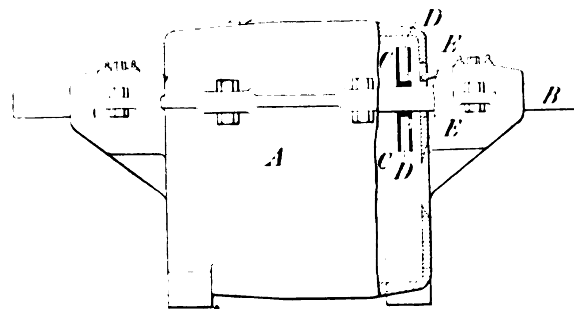


Fig. 14. — Dynamo cuirassée Rosling et Appleby avec ventilateur pour le refroidissement.

H. W. Appleby [1]. Le ventilateur (fig. 14) est ici tout simplement monté sur l'arbre du côté opposé au collecteur. Des ouvertures E permettent à l'air de rentrer, une autre placée du côté du collecteur lui permet de sortir. Il va sans dire que les ouvertures E peuvent être munies d'une gaze quelconque qui arrête les poussières ou encore d'un tuyau appelant l'air de l'extérieur si celui du local où se trouve la machine est déjà trop chaud pour permettre un refroidissement efficace.

Dans le montage des dynamos directement accouplées soit à un moteur ou à une turbine, soit à une pompe ou à une autre dynamo, on dispose généralement les deux appareils, dynamo et moteur, sur un même bâti ou, si la chose est impossible, sur deux bâtis distincts placés sur un même massif.

[1] L'emploi d'armature légèrement tronconique ainsi que la surface interne des inducteurs, proposé par plusieurs inventeurs est à rapprocher du dispositif de M. Wood, qui n'est en quelque sorte que la généralisation.

[1] Brevet anglais n° 468, 4 figures. Déposé le 7 janvier 1898, délivré le 26 novembre 1898.

MM. P.-R. Jackson et J.-S. Lewis [1] emploient un procédé un peu différent qui facilite beaucoup le montage et qui du reste est employé par beaucoup de constructeurs pour le montage des dynamos d'assez forte puissance à commande directe. Ce procédé consiste à monter séparément les paliers et la carcasse inductrice de la dynamo sur deux rails fixés après le bâti du moteur, de la pompe ou d'une autre dynamo.

Les figures 15 et 16 se rapportent à une dynamo génératrice conduite par un moteur

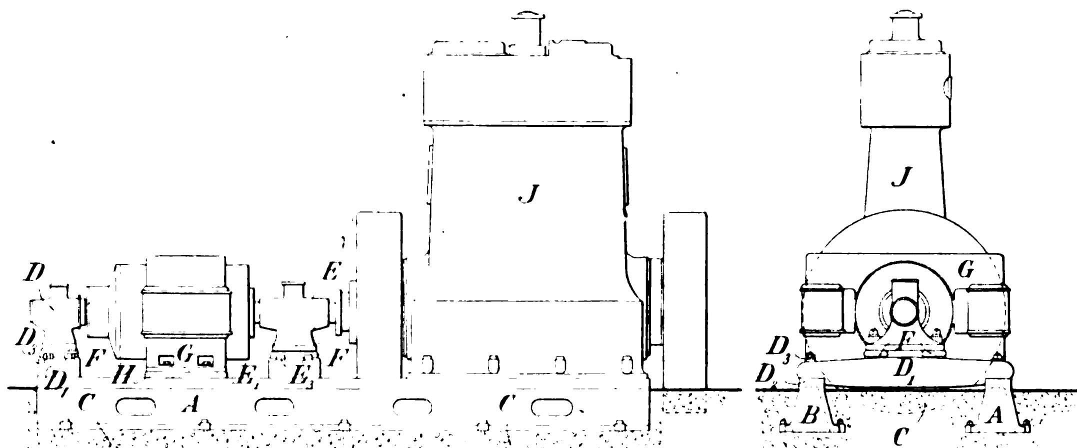


Fig. 15 et 16. — Procédé de montage d'une dynamo et d'un moteur accouplé directement de Jackson et Lewis.

à vapeur J. Les deux rails A et B noyés dans le massif C et sur lesquels est monté le bâti du moteur, sont prolongés pour recevoir la dynamo. Celle-ci comme nous l'avons dit a sa partie fixe disposée en trois parties distinctes et séparées les unes des autres.

Les deux paliers D et E sont boulonnés sur les supports D_1 et E_1 fixés eux-mêmes

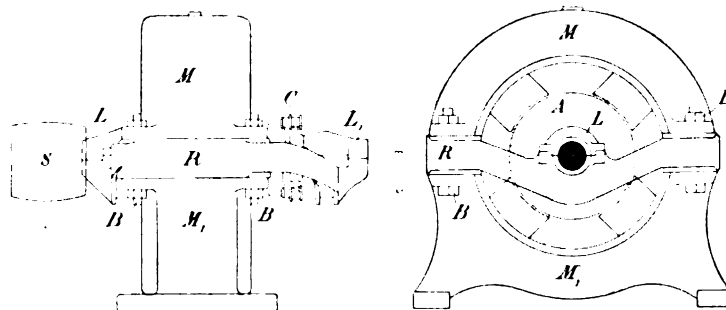


Fig. 17 et 18. — Vues d'une dynamo James Burke.

après les rails A et B. La carcasse inductrice repose sur deux cales en bronze H lesquelles sont placés directement sur les rails.

Les cales en bronze de l'inducteur et celles F des paliers ont leur épaisseur réglée seulement au moment du montage et permettent par suite d'ajuster l'entrefer en tout point de la surface extérieure des inducteurs à la valeur voulue en même temps qu'elles facilitent le réglage des axes de la dynamo et du moteur.

Pour obtenir un bon centrage de l'induit par rapport à l'inducteur, M. J. Burke [1]

[1] Brevet anglais n° 586, 2 figures. Déposé le 8 janvier 1898, délivré le 3 décembre 1898.

[1] Brevet anglais n° 19537, 5 figures. Déposé le 14 septembre 1898, délivré le 3 décembre 1898.

dispose les deux paliers L et L′ de la dynamo (fig. 17 et 18) sur un châssis R représenté à part sur la figure 19 et dont les deux côtés

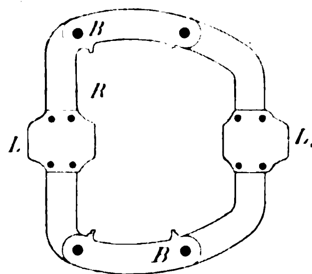


Fig. 19. — Plan du châssis porte-paliers d'une dynamo J. Burke.

parallèles à l'axe sont emprisonnés entre les deux parties de la couronne des inducteurs.

Ce châssis peut également être boulonné sur des consoles T (fig. 20) venues de fonte avec la demi-couronne inférieure des inducteurs.

Lorsque la vitesse du moteur est assez grande et qu'il y a lieu de la réduire à l'aide d'un engrenage, l'arbre portant la roue dentée peut avoir aussi ses coussinets fixés avec le châssis, c'est ce qu'indique la figure 21 représentant une projection horizontale d'un dispositif de ce genre.

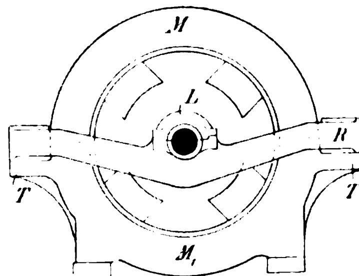


Fig. 20. — Vue d'une dynamo J. Burke (variante).

Ces procédés de centrage sont applicables aux moteurs de tramways ou de véhicules automobiles quelconques.

(*A suivre.*)

C.-F. GUILBERT.

DÉTERMINATION DIRECTE D'UN KILOHM ABSOLU (¹)

VI. — CALCUL D'UNE EXPÉRIENCE

1° CALCUL DE S. — J'indiquerai seulement le calcul de s relatif au dernier mode de comparaison.

On a :

$$H_c = \frac{2SN}{\rho^3}\left[1 + \frac{l^2}{2\rho^2}\left(\frac{5D^2}{\rho^2} - 1\right)\right] \qquad (1)$$

D = 49,557 cm internationaux.

Cette valeur est déduite d'une moyenne de dix pointés effectués au cathétomètre installé dans une position horizontale.

Dans d'autres expériences on a fait usage d'une machine à diviser dont le chariot était muni d'un viseur.

On a :

$$\rho^3 = 196\,448$$
$$2SN = 232\,071$$
$$\frac{2SN}{\rho^3} = 1,18133$$
$$\frac{l^2}{2\rho^2} = 1,21355 \times 10^{-4}$$
$$\frac{5D^2}{\rho^2} = 3,6338$$
$$H_c = 1,1817.$$

D'autre part

$$H_b = \frac{2ns}{D^3}\,\frac{1}{\left(1 - \frac{l^2}{D^2}\right)^2}\left[1 - \frac{3}{2}\,\frac{r^2}{D^2}\,\frac{\Delta'^2 - \Delta^2}{\Delta' - \Delta} + \frac{5}{8}\,\frac{r^4}{D^4}\,\frac{\Delta'^3 - \Delta^3}{\Delta' - \Delta} - \varepsilon\right].$$

La valeur D déduite de pointés effectués après retournement bout pour bout et huit fois face pour face, est :

D = 68,147 cm internationaux

$n = 1467$; $l = 33,265$.

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique* des 5, 12 et 26 août et du 2 septembre, p. 161, 212, 288, 328.

Pour le calcul de la correction, on prendra $r = 4,931$.

On a :

$$\frac{2n}{D^3} = 0,009271$$

$$\left(1 - \frac{l^2}{D^2}\right)^{-2} = 1,7235$$

$$\frac{2n}{D^3}\left(1 - \frac{l^2}{D^2}\right)^{-2} = 0,015977$$

$$\Delta = \left(1 + \frac{l}{D}\right)^{-2} = 0,4516; \quad \Delta' = \left(1 - \frac{l}{D}\right)^{-2} = 3,8167$$

$$-\frac{3}{2}\frac{r^2}{D^2}(\Delta + \Delta') = -0,033542$$

$$+\frac{5}{8}\frac{r^4}{D^4}\frac{\Delta'^3 - \Delta^3}{\Delta' - \Delta} = +0,000283.$$

D'où

$$H_b = s \times 0,015446,$$

par suite

$$s = 76,504.$$

L'équilibre rapidement réalisé persistait malgré les variations du courant et la sensibilité du magnétomètre était telle, qu'à un déplacement de 1 mm de la bobine, correspondait sur la règle un déplacement du spot égal à 50 mm. Le courant utilisé était d'environ 1/2 ampère.

Pour effectuer le centrage, on amenait les points de croisement des fils de trois réticules, définissant respectivement les centres des faces de la bobine et le centre du cerceau, au contact d'un fil fin bien tendu. Ce fil passait également par le milieu d'une très courte aiguille aimantée suspendue à un long fil de cocon. L'aiguille oscillait à l'intérieur d'un bloc de cuivre rouge amortisseur, et sa monture portait un miroir sphérique d'environ 4 m de rayon servant soit à mesurer les déviations, soit à constater l'équilibre : l'image du fil doit rester fixe sur la règle, lorsque le courant est supprimé ou rétabli. Si une pareille précision était nécessaire, on pourrait par cette méthode établir l'équilibre en observant l'image au microscope.

La moyenne de cinq mesures a donné pour la section s de la bobine à 17 degrés :

$$s = 76,495.$$

J'ai adopté dans les calculs qui suivent la section fournie par les mesures magnétiques qui tiennent compte de toutes les spires et de leur état, tandis que les pointés géométriques sont nécessairement limités à un certain nombre de sections et d'azimuths.

Valeur de L_m. — On a :

$$4L_m = 16\pi\, n_1 s \times 200 = 16\,956\,669,598.$$

2° Calcul de la résistance K. — On emploie la formule :

$$R_1 = 4L_m\sqrt{\nu_1 \nu'_1}\sqrt{r_1 r_1}\sqrt{(1+\gamma_1)(1+\gamma_2)} \times \frac{1}{f + b(1-f)}$$

établie plus haut.

Le facteur L_m a été obtenu précédemment :

Détermination de ν_1 *et* ν'_1. — On équilibre une première fois le galvanomètre en établissant le courant continu dans les bobines G_1 et on inscrit, sur le cylindre tournant à grande vitesse, les tours du moteur et les battements d'un pendule dont on vient de déterminer la période T. On équilibre une seconde fois en établissant le courant continu dans les bobines G_2 et on inscrit de même les tours du moteur et les battements du pendule.

En désignant par $N_1 + \varepsilon_1$ et par $N_2 + \varepsilon_2$ les angles de rotation du moteur estimés en tours relatifs aux deux équilibres et par p_1 et p_2 les nombres entiers des périodes correspondantes du pendule, on a :

$$\nu_1 = \frac{N_1 + \varepsilon_1}{p_1 T}; \quad \nu'_1 = \frac{N_2 + \varepsilon_2}{p_2 T}.$$

On compte directement N_1 et N_2 et on estime au cathétomètre les fractions ε_1, ε_2.

Dans certains cas, on maintenait l'équilibre plusieurs minutes au moyen d'un frein (frein à ficelle, frein constitué par une tige plate reposant sur l'axe du moteur et le long de laquelle on déplace un poids..., etc.). On lisait directement au compte-tours, complété par un disque destiné à estimer la fraction, les nombres $N_1 + \varepsilon_1$ et $N_2 + \varepsilon_2$. Un chronomètre solidaire du compte-tours, mis en

****

marche et arrêté en même temps que celui-ci, fournissait p_1T et p_2 T.

Détermination de r_1 et r_2. — On a $r_1 = \frac{\mathfrak{R}}{R_2}$, $\mathfrak{R}$ est la résistance de l'ensemble du circuit relatif à la compensation et R_2 est la résistance du circuit induit. On compare respectivement ces résistances à celle de la boite auxiliaire dont les bobines sont en série dans le premier cas et en parallèle dans le second.

On trouve

$$\frac{\mathfrak{R}}{B_s} = a; \quad \frac{R_2}{B_p} = b.$$

par suite

$$r_1 = \frac{a}{b} \frac{B_s}{B_p}.$$

Au second équilibre correspond

$$r_2 = \frac{a'}{b'} \cdot \frac{B_s}{B_p}.$$

Détermination de γ_1 et γ_2. — On obtient γ_1 en comparant la résistance du galvanomètre G_1 à celle du shunt S_1 réglé pour le premier équilibre; γ_2 est le rapport de G_2 à S_2 qui correspond au second équilibre.

Le distributeur D permet d'effectuer très commodément les comparaisons qui conduisent aux valeurs de r_1, r_2; γ_1, γ_2, et du rapport $\lambda = \frac{K}{A+K}$ surtout lorsqu'on emploie la méthode potentiométrique.

Les ponts métalliques du distributeur servent aux mises en série successives des résistances à comparer et de la pile, des fiches mobiles servent aux prises de potentiel.

Détermination de f et de b. — La valeur de f a été obtenue par voie d'inscription : le commutateur, une pile et l'électro Desprez étant en série, on met le moteur en marche; le stylet inscrit alors sur un cylindre dont la rotation est solidaire de celle de l'axe du commutateur, une courbe périodique qui fait connaître les durées relatives de fermeture et d'ouverture du courant inducteur et fournit de précieux renseignements sur le mode de fonctionnement des balais ou des contacts

Pour déterminer b, j'ai employé la méthode du condensateur. J'ai aussi déduit b du rapport des différences de potentiel aux bornes du shunt S lorsque le circuit inducteur est ouvert, puis fermé. Le facteur correctif $\frac{1}{f + b(1-f)}$ étant très faible, il n'est pas nécessaire de le connaître avec une grande précision.

Disposition du calcul. — Série M. — 1° Les petites bobines constituent la partie active du circuit inducteur.

$$\nu_1 = 12{,}4967; \qquad \nu_1' = 12{,}5591.$$

$$\frac{\text{induit} + G_1}{B_p} = 1{,}038357.$$

$$\frac{\text{induit} + G_2}{B_p} = 1{,}040667.$$

$$\frac{S + G_1}{G_1} = 1{,}233568; \qquad \frac{S + G_2}{G_2} = 1{,}25224.$$

$$\frac{K + A}{K} = 1{,}144343.$$

$$\frac{\text{compensateur total}}{B_s} = 1{,}072164.$$

Chacun des seconds membres est, en général, la moyenne de dix pointès.

Des rapports précédents on déduit

$$1 + \gamma_1 = 5{,}28141; \qquad 1 + \gamma_2 = 4{,}9644.$$

Comme

$$\frac{B_s}{B_p} = 1025{,}511$$

on a

$$r_1 = \frac{\text{compensateur total}}{\text{induit} + G_1} = 1058{,}781;$$

$$r_2 = \frac{\text{compensateur total}}{\text{induit} + G_2} = 1056{,}4298$$

En conséquence

$$U = \sqrt{\nu_1 \nu'_1 . r_1 r_2 (1 + \gamma_1)(1 + \gamma_2)} = 67\,843{,}706$$
$$R_1 = 4 L_m U = 1\,150{,}403 \times 10^9$$
$$K = 0{,}87386 \times R_1 = 1\,005{,}296 \times 10^9.$$

2° La grande bobine constitue la partie active du circuit inducteur

$$\nu_1 = 12{,}6098; \qquad \nu'_1 = 12{,}4897$$

$$\frac{\text{induit} + G_1}{B_p} = 1{,}22258; \qquad \frac{\text{induit} + G_2}{B_p} = 1{,}22403$$

$$\frac{S + G_1}{G_1} = 1{,}198372; \qquad \frac{S + G_2}{G_2} = 1{,}215088$$

$$\frac{K + A'}{K} = 1{,}11168; \qquad \frac{\text{compensateur total}}{B_s} = 1{,}07192.$$

Donc

$$1 + \gamma_1 = 6{,}04103\,; \qquad 1 + \gamma_2 = 5{,}6492$$
$$r_1 = 899{,}236\,; \qquad r_2 = 898{,}183$$

et

$$U' = \sqrt{\nu_1 \nu'_1 . r_1 r_2 . (1 + \gamma_1)(1 + \gamma_2)} = 65887{,}16.$$

Les valeurs de U et U' sont indépendantes de la température d'ensemble, car les rapports r et γ correspondent à des circuits formés d'un même métal.

On a ainsi

$$R'_1 = 4 L_m U' = 1\,117{,}227 \times 10^9$$
$$K = 0{,}89953 . R'_1 = 1\,004{,}984 \times 10^9$$
$$\text{Moyenne } K = 1\,005{,}140$$

Il faut multiplier maintenant cette valeur de K par le facteur correctif $\frac{1}{f + b(1-f)} = 0{,}9994$.

A 17° C.

K' = 1 004,537 ohms absolus.
Moyenne des séries M, Y, Z
1 004,034 17°.

En comparant la résistance précédente à celle d'une boite étalonnée en ohms internationaux à 17° j'ai trouvé

K' = 1 003,225.

L'ohm déduit de ma mesure aurait donc pour expression en colonne de mercure 106,214.

VII. — Conclusions

J'ai indiqué et appliqué une méthode de zéro permettant de mesurer en unités absolues une résistance *d'un ordre élevé*. Jusque-là les méthodes mises en œuvre ont eu généralement pour objet la mesure absolue d'une résistance de l'ordre de l'ohm.

La manipulation qui m'a conduit à une détermination directe du *kilohm* mettant à profit l'induction mutuelle (2) exige l'emploi d'un interrupteur périodique, mais tous les circuits sont fixes : le déplacement d'une bobine, s'effectuant dans des conditions définies, présente plus de difficultés.

Comme dans la méthode de détermination de l'ohm, due à M. Lippmann, et réalisée sous sa direction par M. Wuilleumier, tout se réduit à mesurer la section d'une bobine et une vitesse angulaire.

Il y a en plus une série de rapports à estimer ; cela rend la méthode laborieuse, mais ces nombres auxiliaires s'obtiennent avec une précision très supérieure à ceux qui mesurent la section de la bobine et la vitesse angulaire.

Le rapport des actions électromagnétiques des bobines du galvanomètre différentiel s'élimine, comme on l'a vu, par la répétition de la mesure après avoir permuté les rôles des bobines.

Il n'y a aucune déviation à observer.

Il est inutile d'employer un indicateur stroboscopique pour assurer la constance de la vitesse pendant l'équilibre, l'appareil lui-même permet de réaliser cette condition puisqu'elle est nécessaire à la fixité de l'équipage du galvanomètre.

En observant le spot au moyen d'un viseur placé près du moteur et faisant glisser un poids, sans le soulever, le long d'un levier plat prenant son appui sur l'axe du moteur, on maintient, avec un peu d'habitude, le spot sur le réticule de la lunette. Il serait préférable — et c'est le problème auquel je m'applique en ce moment — de disposer d'une régulation précise et automatique du moteur. L'enregistrement ou l'inscription des tours pourrait avoir alors une longue durée.

Au cours de ces recherches j'ai été conduit à construire : 1° un kilohm ; 2° une résistance de 200000 ohms environ, formée de 32 bobines montées de façon à pouvoir être groupées à volonté ; 3° un grand cerceau destiné à servir de surface étalon dans les comparaisons magnétiques ; 4° 7 bobines B aussi parfaites que possible ; 5° un commutateur à neuf touches excentriques se prêtant aux combinaisons de coupure et d'établissement que l'on désire, sans permettre aux touches de vibrer ; 7° un

pendule de M. Lippmann à entretien électrique qui fonctionne sans discontinuité depuis plus d'un an (1).

En comparant la résistance absolue que j'ai mesurée à la bobine marquée 1000 d'une boîte Carpentier (3 — 5939), non encore mise en service, j'ai été conduit au résultat suivant :

A 17° la résistance étudiée vaut 1003,2250 ohms internationaux de la boîte Carpentier. Si l'ohm dont la boîte Carpentier dérive correspond à 106,3 en colonne de mercure, celui du kilohm correspond à 106,214 cm.

On pourrait perfectionner l'application de la méthode en employant une bobine inductrice construite dans d'autres conditions et un régulateur automatique sensible.

A. GUILLET

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Câbles sous-marins Willoughby S. Smith (2).

La confection des âmes des câbles sous-marins par la torsion de plusieurs fils cylindriques a l'inconvénient de donner à ces câbles une capacité plus grande que celle que l'on aurait en constituant l'âme par un seul conducteur cylindrique ayant une section égale à celle de l'ensemble des fils. En effet, la capacité d'un câble croît en même temps que la surface latérale de l'âme et l'on sait que la force cylindrique est celle qui, à égalité de section, donne la plus faible surface latérale. Dans les câbles imaginés par M. Willoughby Smith, l'âme est cylindrique, mais formée de plusieurs conducteurs afin de rendre le câble plus maniable et la rupture de l'âme plus difficile que si l'on n'employait qu'un seul conducteur.

Les figures 1 à 3 indiquent clairement le mode de fabrication de l'âme. Autour d'un fil cylindrique on enroule des bandes métalliques minces (fig. 1) formant une série de couches superposées en nombre suffisant pour donner à l'âme la section nécessaire, les couches pouvant être enroulées dans le même sens (fig. 2) ou dans des sens opposés (fig. 3).

Pour obtenir un bon contact des diverses bandes entre elles et avec le conducteur central, il convient d'employer des bandes de très faible épaisseur ; avec des bandes épaisses il faudrait, pour qu'elles viennent en contact, couper leurs bords de biais, ce qui serait difficile et coûteux.

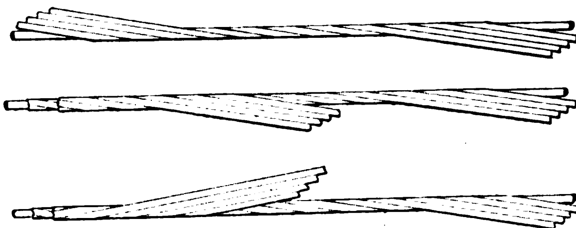


Fig. 1 à 3. — Confection de l'âme des câbles Willoughby Smith à faible capacité.

S'il est nécessaire on peut recouvrir le conducteur central et les diverses couches métalliques d'une substance adhésive. Un mélange de goudron de Stockholm, de résine et de gutta-percha convient fort bien pour cet usage. J. R.

Combinateur W.-R. Edwards et S.-F. Beevor pour moteurs alimentés par des accumulateurs (1).

La figure 1 représente schématiquement un combinateur disposé pour donner au

(1) Mon frère Victor Guillet m'a beaucoup aidé dans la construction de ces divers appareils.

(2) Brevet anglais n° 11 627, déposé le 23 mai 1898, accepté le 6 mai 1899.

(1) Brevet anglais n° 4004, déposé le 17 février 1898, accepté le 17 février 1899.

moteur, particulièrement au moteur d'un canot électrique, deux vitesses différentes en avant et en arrière. Les batteries d'accumulateurs, au nombre de deux, sont représentées en B_1 et B_2; les balais du collecteur du moteur sont indiqués en A_1 et A_2; les inducteurs en F_1 et F_2. Les connexions que le combinateur est chargé de réaliser sont les suivantes :

1° Pour la marche avant à pleine vitesse, — 1 à + 2, — 2 à A_2, A_1 à F_1, F_1 à + 1; les deux batteries sont en série.

2° Pour la marche avant à demi-vitesse, + 1 et F_1 à + 2, — 2 et — 1 à A_2, A_1 à F_2; les deux batteries sont en parallèle.

3° Pour la marche arrière à pleine vitesse, — 1 à + 2, — 2 à A_1, A_2 à F_2, F_1 à + 1; les deux batteries sont en série.

4° Pour la marche en arrière à demi-vitesse, + 1 et F_1 à + 2, — 2 et — 1 à A_1, A_2 à F_2; les deux batteries sont en parallèle.

Ces diverses combinaisons sont obtenues par le déplacement d'un bras métallique *b* (fig. 2 et 3) mobile autour d'un axe vertical *d*.

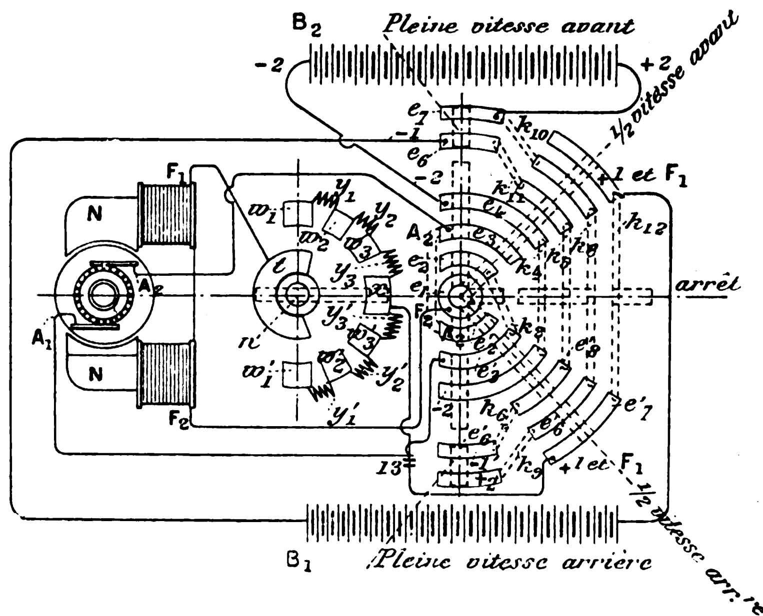


Fig. 1. — Diagramme des connexions du combinateur Edwards et Beevor.

Ce bras porte six contacts c_2 à c_7 pressés par des ressorts contre des arcs métalliques e_2 à e_7, e'_2 à e'_7 disposés concentriquement suivant six demi-circonférences; il est en outre en communication par son axe avec l'anneau métallique e_1; le contact c_2 communique directement avec le bras *b*; les contacts c_3, c_4, c_5 sont en communication entre eux mais sont isolés du bras par une couche isolante; de même pour les contacts c_6 et c_7. Les arcs métalliques situés au-dessus de la ligne médiane *xy* sont destinés à établir les connexions pour la marche avant ; ceux situés au-dessous sont destinés à la marche arrière; Six de ces arcs e_2, e_3, e_4, e'_2, e'_3, e'_4 correspondent à des angles au centre d'environ 55°; les dix autres e_5, e_6, ..., e'_5, e'_6 ... à des angles au centre de 25°; des barres métalliques k_1 à k_{11} relient entre eux quelques-uns de ces arcs; les balais A_1 et A_2 du moteur sont reliés aux arcs e'_3 et e_3 par des câbles aboutissant aux bornes *h* et h_1; les pôles de la batterie B_1 sont en communication avec les arcs e'_7 et e_6 par les bornes h_6 et h_3; ceux de la batterie B_2 sont reliés aux arcs e_7 et e'_4 par les bornes h_4 et h_2; l'une des extrémités de l'enroulement inducteur aboutit en h_5 et se trouve reliée à l'arc e'_7 par l'intermédiaire d'un commutateur *n* visible à gauche des figures et dont nous verrons l'usage; enfin l'autre extrémité de l'enroule-

ment est reliée directement à l'anneau e_1. En suivant avec soin les indications du diagramme de la figure 1 on peut s'assurer que quand le bras porte-contacts est dans une des positions perpendiculaires à xy les connexions sont bien celles indiquées plus haut sous les numéros 1 et 3; pour les positions des bras

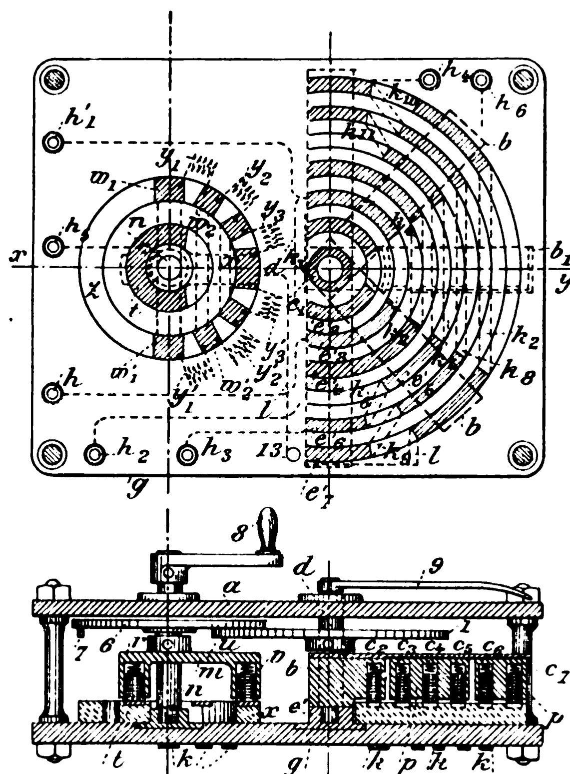


Fig. 2 et 3. — Vue en plan et élévation du combinateur.

faisant des angles de 45° avec xy ce sont les connexions 2 et 4 qui sont réalisées; enfin quand le bras de contact est suivant xy, les communications sont coupées; c'est la position d'arrêt.

Le commutateur représenté à gauche des figures a pour but d'éviter la production d'étincelles entre les arcs métalliques et les contacts du bras du combinateur principal lorsque ce bras est amené d'une position à une autre. Pour cela le courant est coupé par le commutateur auxiliaire quand le bras du combinateur passe d'une position à l'autre et il est rétabli quand ce bras est dans une de ces positions, la rupture et la fermeture s'effectuant graduellement au moyen de résistances intercalées successivement dans le circuit ou mises hors circuit.

Ce commutateur auxiliaire se compose d'un bras m (fig. 3) mobile autour d'un axe n dont il est isolé et portant deux contacts s et v; le premier appuie sur un arc métallique t embrassant un peu plus d'une demi-circonférence et relié à l'extrémité F_1 de l'enroulement inducteur; le second passe sur une série de plots x,

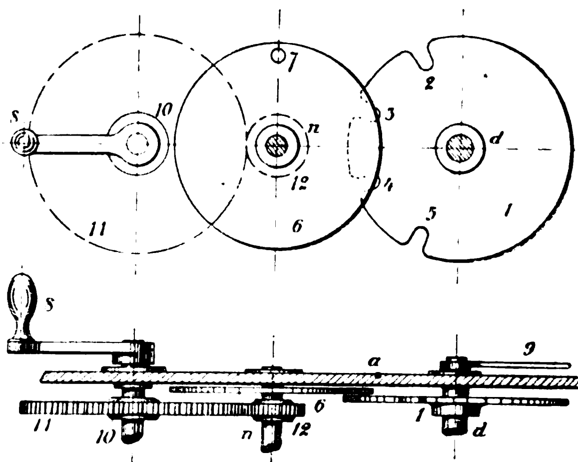


Fig. 4 et 5. — Variante du dispositif de manœuvre.

w_1, ..., w'_1, ... dont l'un x est relié à e'_7 et dont les autres sont reliés par des résistances y_1, ..., y'_1, ... Quand ce dernier contact est amené dans la région indiquée par z dans la figure 2 le circuit est coupé; si on le fait alors tourner dans un sens quelconque le circuit est fermé à travers les résistances, qui sont ensuite mises hors circuit successivement.

La commande de l'ensemble du combinateur est effectuée par la manette 8 fixée sur l'axe n du commutateur auxiliaire (fig. 3) ou sur un axe 10 (fig. 4 et 5) portant une roue dentée 11 engrenant avec un pignon 12 calé sur l'axe n. Sur ce dernier axe est fixé un disque 6 portant une goupille 7, et sur l'axe d du combinateur principal un disque 1 muni d'encoches 2, 3, 4, 5. Quand le disque 6 fait un tour, la goupille fait tourner le disque 1 d'un angle correspondant au passage du bras b de l'une à l'autre des 5 positions qu'il peut occu-

blables comme parties essentielles et ne diffèrent que par la partie supérieure, recevant le châssis de la voiture à transporter.

per; la position de la goupille par rapport à la direction du bras *m* est telle que le circuit est rompu par *m* pendant tout le temps que cette goupille est en prise avec le disque 1, c'est-à-dire pendant le temps nécessaire au passage du bras *b* d'une position à une autre, position qui est indiquée par une aiguille 9 (fig. 3) solidaire de l'axe de ce bras. Quand la manette est fixée directement sur l'axe *n*, il faut lui faire faire un tour complet pour déplacer le bras *b* de 45°. Avec le dispositif des figures 4 et 5 le déplacement correspondant de la manette peut être réduit autant qu'on veut par un choix convenable du rapport des diamètres des roues 11 et 12.

J. R.

Lorry de secours en cas de déraillement des voitures de tramways mécaniques (1);

En cas de rupture d'essieu d'une voiture de tramway à traction animale, la voiture est mise hors rails très facilement et le service n'est pas interrompu. Il n'en est pas de même pour les voitures automotrices dont le poids souvent élevé, surtout avec le système à accumulateurs, ne permet pas une mise hors rails rapide. Dans ce cas les voitures qui suivent l'automotrice en détresse, sont immobilisées, durant un temps très long, au détriment du public et de la compagnie exploitante.

Pour obvier à ce grave inconvénient, la Compagnie générale des Omnibus a étudié le moyen de garer promptement une automotrice à l'aide de deux lorrys de secours à roues basses, d'une construction très robuste et qui sont destinés à supporter l'avant et l'arrière de la voiture, afin de pouvoir ensuite facilement la ramener au dépôt.

Le lorry de secours se compose de deux petits trucks à quatre roues, l'un pour l'avant de la voiture et l'autre pour l'arrière (fig. 1).

Ces deux trucks sont absolument semblables comme parties essentielles et ne diffèrent que par la partie supérieure, recevant le châssis de la voiture à transporter.

Ils se composent tous deux de deux paires de roues de 450 mm de diamètre clavetées

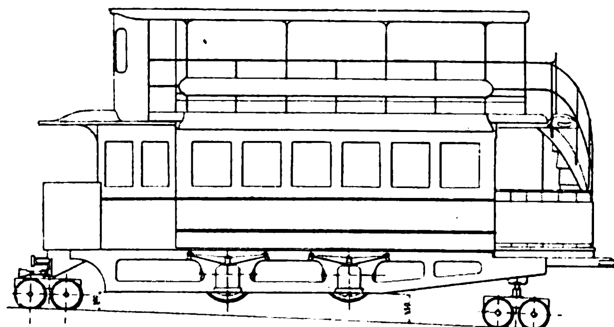


Fig. 1. — Lorry de secours en place sous la voiture.

sur les essieux dont les boîtes à huile spéciales, à semelles, supportent un petit châssis composé de trois fers en U réunis par des

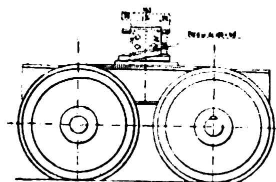


Fig. 2. — Élévation d'un lorry.

équerres et deux grands goussets (fig. 3, 4 et 5).

Les trucks sont en outre munis de deux

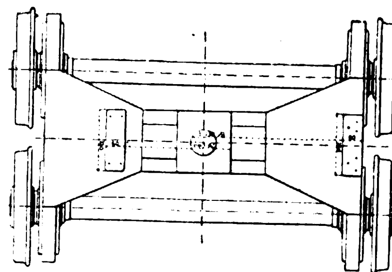


Fig. 3. — Demi-plan d'un lorry d'avant, demi-plan d'un lorry d'arrière.

cales fixes (une de chaque côté) pour recevoir le dessous du châssis de la voiture à transporter, et d'un pivot en fonte dont la partie femelle est fixée sur le lorry, tandis que la partie mâle est mobile et possède un évidement avec talons destinés à loger la cheville

(1) *Revue générale des Chemins de fer et des Tramways*, t. XXII et p. 67.

de la barre d'attelage et la cornière voisine.

Le truck d'arrière est complété par une traverse mobile et indépendante constituée par deux fers en U assemblés, possédant aussi deux cales correspondantes à celles du petit truck, ainsi qu'un pivot mâle en fonte

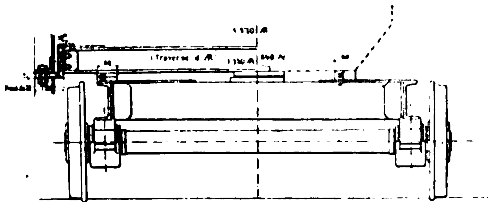


Fig. 4. — Demie-vue du lorry d'arrière et demie-vue du lorry d'avant.

fixé au milieu, et à chaque extrémité une équerre spéciale solidement fixée. Ces équerres ont une face inclinée sur laquelle vient se boulonner le longeron du châssis de l'automotrice.

Les lorrys portent à chaque extrémité une patte d'attelage qui permet d'accrocher la chape et la tulipe d'attelage pour le remorquage au dépôt et pour conduire les deux lorrys sur le lieu de l'accident.

En cas d'accident immobilisant une automotrice en pleine voie, le dépôt prévenu par téléphone, fait immédiatement atteler les deux lorrys à une automotrice de secours. On y charge les crics et l'outillage nécessaire. En attendant le machiniste de l'automotrice en détresse démonte le chasse-corps d'avant de manière à permettre la mise en place du lorry d'avant. Dès que le train de secours est arrivé, les lorrys sont placés l'un à l'avant, l'autre à l'arrière de l'automotrice dont on cale les boîtes à graisse. A l'aide de deux crics placés sous chaque longeron, on soulève l'avant de la voiture, on fait reculer le lorry d'avant jusqu'à ce que les deux longerons reposent sur les extrémités de la traverse du lorry, l'axe de la barre d'attelage fixé au centre de cette traverse. Le lorry d'avant étant mis en place, on soulève l'arrière de la voiture pour placer de même celui d'arrière. On peut alors atteler la voiture avariée à l'automotrice de secours et la remorquer doucement jusqu'au prochain garage, puis jusqu'au dépôt.

Il résultait des essais qui ont été faits de ces appareils qu'avec cinq hommes la durée de la manœuvre devait être de 20 minutes à partir de l'arrivée du train de secours sur le lieu de l'accident pour des automotrices pesant 14 000 kg à vide. Ces résultats viennent d'être vérifiés sur deux automotrices de la ligne Saint-Ouen-Bastille qui ont eu leurs essieux cassés le 20 avril et le 16 juin 1899 sur la voie publique.

Expériences de halage électrique sur les canaux, par le système Lamb et le système Koettgen ;

Par G. Klingenberg (1).

La maison Siemens et Halske vient de faire sur le canal Finow, des expériences au sujet du halage électrique des bateaux. Deux moyens ont été employés, le système Lamb et un nouveau procédé dû à l'ingénieur en chef de la maison Siemens, M. Koettgen.

La maison Siemens devait expérimenter le système Lamb pour l'acheter, et au cours des négociations, elle s'aperçut qu'il possédait certains inconvénients et ne pouvait suffire comme solution du problème de la traction sur les canaux. Comme cette solution doit avant tout être simple et sûre, M. Koettgen fut amené à proposer la création d'une voie ferrée sur le chemin de halage pour la circulation d'une petite locomotive, tout ceci étant de construction facile et ne nécessitant aucun nouvel aménagement pour des bateaux dont le halage était fait d'ordinaire par des hommes ou des chevaux. Dès lors, les essais furent poursuivis avec les deux systèmes.

On commença l'aménagement de l'espace qui devait servir aux expériences en juillet de l'année dernière; deux mois et demi plus tard le chemin de fer était prêt à fonctionner et on s'en servit jusqu'en décembre, pour un

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XX, p. 541, 2 août 1899.

trafic ininterrompu à l'aide d'un bateau du canal et deux chalands.

Le montage du système Lamb fut achevé en janvier de cette année.

La longueur du chemin d'expériences était de 300 m pour le Lamb et 1 000 m pour le Koettgen; le choix en était tel qu'on rencontrât sur son parcours les divers accidents : ponts, courbes, quais de chargement.

Les deux systèmes utilisaient un courant à 500 volts produit dans une petite usine provisoire. La constance de la tension était assurée par une batterie d'accumulateurs.

Dans le système Lamb, les bateaux sont traînés par de petites locomotives qui roulent sur un câble aérien de 32 mm de diamètre, posé à 4 ou 5 m de hauteur sur des poteaux en bois. Ces locomotives prennent appui sur un câble de conduite de plus petit diamètre (16 mm de diamètre, formé de 49 fils de 1 mm) et également fixe. Ce dernier câble entoure deux fois un tambour de 600 mm de diamètre, porté par la locomotive et mis en mouvement par l'électromoteur. Le courant arrive par le conducteur de support et s'éloigne par le câble de conduite, qui traîne à terre. On fut obligé ultérieurement de faire arriver le courant par un conducteur spécial. Le moteur de la locomotive peut développer 5 chevaux, son poids est de 900 kgr; à pleine charge, la vitesse est de 4 km à l'heure, et l'effort de traction varie entre 240 et 260 kgs.

On s'aperçut vite qu'on ne pouvait, avec cette locomotive décrire les courbes : le câble de support s'y présente sous un angle tel que la locomotive se cale aux sommets. Pour diminuer cette action mauvaise, on dut arrondir les angles en disposant sur les poteaux correspondants des pièces d'acier coulé qui, pour des angles de 150°, comme il n'est pas rare d'en rencontrer sur les canaux, atteignaient une longueur de 2 m ou 2,50 m. Cela faisait une augmentation considérable de poids et de dépenses. De plus, les poteaux doivent être très hauts, aussi faut-il les enfoncer solidement en terre. La composante horizontale sur le câble de support (10 000 kg) produit, sur les poteaux des courbes, une composante dirigée vers l'eau qui atteint 3 000 kg et agit avec un bras de levier de 4 à 5 m, car, en ces points, la corde de support doit être fixée à une telle hauteur pour que, à l'endroit le plus bas, elle soit encore à 3 ou 4 m du sol. Il a donc été nécessaire d'amarrer les poteaux à des ancres. Il faut tenir compte, pour l'ancrage, de la solidité du terrain, et on conçoit la difficulté de construction d'un tel ensemble. Il faut ajouter les mouvements de torsion auxquels le changement de sens de l'effort de traction soumet chaque poteau au moment où la locomotive le dépasse ; l'action est faible, mais suffit à la longue pour déchausser les poteaux.

Enfin le principal défaut réside dans la fatigue des câbles. Au droit des poteaux d'abord, le poids de la locomotive cause un effort de cisaillement important. Nous avons vu d'autre part que le tambour a 600 mm de diamètre : pour permettre au câble de s'enrouler, dans ces conditions, on a dû le composer de fils ds 1 mm. On a ainsi obtenu une grande souplesse, mais au prix d'un inconvénient, ces fils étant séparément très faciles à rompre.

Les ruptures élémentaires sont d'autant plus désagréables, qu'elles doivent être immédiatement réparées sous peine d'entraîner une grave avarie de tout le câble. L'arrêt du trafic causé par la réparation se répercute d'ailleurs sur toute la longueur du canal. Quant aux réparations de la locomotive elles causent encore plus de désagrément. Pour descendre à terre un appareil de ce poids, suspendu à 5 ou 6 m de hauteur, il faut une grue. Si la ligne est unique et si on fait rouler la machine jusqu'à l'atelier, qui peut être éloigné, il faut une machine de secours et on trouble le trafic.

La souplesse d'emploi du système Lamb n'est pas très grande. La locomotive ne peut développer que 5 chevaux correspondant à une force de traction de 250 kg qui suffit pour traîner un chaland (de charge moyenne 150 à 170 tonnes). Comme chaque locomotive doit avoir son conducteur, il serait dési-

rable pour diminuer les frais de pouvoir tirer plusieurs bateaux à la fois, le nombre de deux bateaux semble très convenable.

Le canal Finow porte des bateaux relativement légers (les canaux français portent un type normal de 350 tonnes et les nouveaux canaux prussiens, un type de 600 à 750 tonnes). Les locomotives devraient dans ces conditions, pour ce canal, exercer un effort de traction de 400 à 500 kg, donc développer 8 à 10 chevaux, de sorte que le poids des locomotives et des accessoires augmenterait considérablement.

Tels sont les inconvénients du système Lamb. Koettgen emploie de petites locomotives de construction légère qui se meuvent sur une voie placée sur la rive. Cette voie se compose d'un rail principal supportant à peu près 85 p. 100 du poids de la locomotive, et d'un contre-rail pour le maintien de la stabilité. Sur le rail principal se reporte toute la force de traction et, en particulier, la composante verticale de cette force (qui est une caractéristique du halage), perpendiculaire à la voie et dirigée vers l'eau. La prise du courant est faite par un trôlet à roulette renversée, c'est-à-dire s'appuyant sur la partie supérieure du fil, de manière à permettre, sans qu'on tourne la perche, aussi bien la marche en avant que la marche en arrière.

Dans le projet, on avait envisagé des forces de traction particulièrement grandes; aussi avait-on ajouté une crémaillère. La locomotive pèse en chiffres ronds 2 000 kg et exerce pour une vitesse de 4,5 km à l'heure, une force de 600 kg, suffisante pour la mise en mouvement de 3 chalands du canal Finow complètement chargés ou de 2 chalands complètement chargés et de 2 vides.

Les crémaillères opposent un certain obstacle à la circulation sur le chemin de halage, elles sont dangereuses pour les sabots des chevaux et gênent à la traversée des routes. On peut arriver à supprimer les crémaillères en augmentant le poids adhérent. C'est ce qu'on a fait dans les dernières expériences, où on a marché avec l'adhérence seulement, et on peut considérer le problème comme résolu en ce sens. Après quelques essais pour s'opposer à l'action de la composante horizontale de la traction, dirigée vers l'eau, on a renoncé à l'emploi de galets horizontaux.

Dans la locomotive d'essai, le point d'attache du câble de halage est à 1 m au-dessus de la voie, l'autre extrémité de ce câble est fixée au mât du bateau à 5 ou 6 m de hauteur. La locomotive porte à 2 m au-dessus de la voie un second crochet auquel le conducteur peut transporter la corde de halage s'il y a des obstacles sur la rive.

Une considération importante dans le projet d'installation, était de laisser éventuellement le chemin de halage libre pour le passage des chevaux. Aussi la voie n'a-t-elle point été constituée au moyen de traverses de bois ou d'acier, mais le rail et le contre-rail ont été séparément disposés sur des petits blocs de ciment, en sorte que l'espace situé entre les rails, qui sont distants de 1 m, reste libre. On a aussi prévu la suppression totale du contre-rail et la chose est parfaitement faisable si on charge suffisamment les roues qui s'appuient sur le sol nu. Il faut alors employer des roues à large jante et à grand diamètre.

L'installation primitive ne comportait que 70 m sans contre-rail; après le premier essai on supprima le contre-rail sur 300 m, et on équipa la locomotive avec de plus grandes roues. On a reconnu que l'exploitation sans contre-rail est possible en supposant que le chemin de halage soit converti en chaussée de bonne route, dans le cas contraire l'emploi du contre-rail doit être préféré quoique son prix soit comparable au prix de façon de la chaussée.

Le service de la locomotive n'offre aucune difficulté. Le conducteur s'assied sur un siège et regarde du côté de l'eau; il peut ainsi apercevoir à la fois son bateau et ceux qui viennent en sens inverse: avec la main gauche, il manie le combinateur; à portée de la main droite, il a un frein mécanique. Ce dernier ne sert d'ailleurs que rarement, puisque le chemin de halage a peu de pentes. Le

conducteur peut, avec la main droite, faire sonner une cloche et transmettre ainsi des signaux au personnel des bateaux.

A cause de la faible vitesse, le conducteur peut aussi quitter son siège et marcher auprès de la locomotive, ce qui est utile au cas où la corde de halage serait venue s'arrêter contre un obstacle.

Le moteur de la locomotive est tel que, à vide, elle peut marcher à 8 et 9 km à l'heure; si le moteur possède une excitation shunt, on peut arriver à 12 km.

S'il y a une voie sur chaque rive du canal, les manœuvres sont faciles, les locomotives font la navette sur des sections de 20 à 30 km. Le cas le plus fréquent est celui où la voie n'existe que d'un seul côté, les locomotives ne parcourant alors qu'une section de 1 à 5 km. Deux locomotives viennent-elles à se rencontrer, elles échangent leur câble de halage et repartent en sens inverse. L'échange des câbles et le croisement des bateaux ne demandent que fort peu de temps.

Le halage électrique se développera sur de plus grandes longueurs, et on peut penser qu'on n'emploiera plus alors le courant continu, mais bien les courants polyphasés à haute tension. Pourtant le moteur continu à haute tension possède certains avantages sur le moteur polyphasé. La première considération est l'augmentation de vitesse de la locomotive marchant à vide qu'on n'obtiendrait guère avec les moteurs polyphasés.

Le courant continu, de plus, permet une prise de contact plus facile, les courants polyphasés exigent 2 ou 3 fils et les phénomènes d'induction peuvent amener des ennuis dans les communications téléphoniques. Cependant la tension serait très variable d'un point à l'autre du canal, avec du courant continu : aussi faudrait-il marcher à 500 ou même 750 volts.

Pour les anciens canaux les profils étroits des ponts créeront une difficulté. M. l'ingénieur Zander a imaginé de disposer, à leur passage, un rail auxiliaire sur lequel s'appuient les galets que nous signalions précédemment, de sorte qu'on peut laisser les roues extérieures libres dans l'air pendant toute la traversée du pont : ceci réduit à 0,35m environ, la largeur du chemin nécessaire au passage de la locomotive.

Le chargement des chalands se fait presque toujours à l'aide de petites voitures à bras, elles sont poussées de la rive jusqu'au bateau, sur des planches. Pour permettre à la locomotive de dépasser un tel quai de chargement, on construit au-dessus une sorte de pont en charpente, formé de poteaux enfoncés de 2 ou 3 mètres et sur le sommet desquels sont fixés les rails; le contre-rail est porté sur de petites consoles en fer fixées aux poteaux principaux; la répartition des charges sur les roues de la locomotive fait que presque tout le poids est reporté directement sur le sol. On accède à cette plateforme par de petites rampes. Aussitôt que la locomotive s'engage sur la rampe, le moteur ralentit un peu, la tension du câble de halage diminue de ce fait, et la locomotive continue à monter avec une moindre diminution de vitesse puisque le travail résistant a diminué; elle reprend sa vitesse normale sur le palier.

On pourra remonter facilement la voie d'après ce principe aux points où le besoin s'en fera sentir; au lieu de bois on pourra évidemment employer le fer pour établir cette légère construction.

Suivent quelques considérations économiques sur le système Koettgen.

L'étude d'une installation de ce genre qui demande un gros capital d'établissement, devra évidemment être envisagée dans les conditions du trafic minimum, et les facteurs qui interviendront seront, par exemple, le type des bateaux, leur charge, la section du canal, la vitesse de l'eau, le nombre d'écluses, etc...

Sur les anciens canaux, qui sont construits pour des bateaux relativement petits, le halage électrique se trouvera en concurrence avec le halage par chevaux. Sur les grands canaux, ce sera avec les remorqueurs. Il fau-

dra considérer non seulement le prix des remorqueurs à vapeur vis-à-vis de celui de l'installation électrique, mais aussi les inconvénients qu'entraîne l'emploi de remorqueurs sur les canaux. Le halage à des vitesses de 4 à 5 km à l'heure, qu'on ne doit jamais dépasser sur les canaux, correspond à un très mauvais rendement des hélices, et l'énergie qui n'est pas employée à la propulsion, l'est à produire des mouvements de l'eau qui détériorent les bords : d'où, des frais d'entretien considérables pour le canal lui-même.

Koettgen a fait remarquer certains avantages économiques particuliers du halage électrique, pour lequel il proposait la régie de l'État, en imitation de ce qui existe sur les chemins de fer allemands. La rapidité du transport étant plus grande avec le halage électrique qu'avec les chevaux, un même bateau peut faire plus de voyages par an. La présence des conducteurs électriques permet de faire de l'éclairage sur le canal et par conséquent d'assurer un trafic de nuit; on pourrait également prévoir la manutention électrique des marchandises transportées.

Enfin, l'inventeur envisage le moment où on emploiera un transport d'énergie à distance pour alimenter les moteurs de halage : cela nécessitera la création de sous-stations, autour desquelles viendront, sans doute, se grouper des industries, puisqu'elles auraient ainsi tout près d'elles un moyen de transport économique, et cela serait là une curieuse décentralisation. J. G.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur les propriétés magnétiques du fer aux basses températures;

Par M. Georges CLAUDE [1].

« Les expériences relatées ci-après ont eu pour but de suivre les variations de la perméabilité magnétique et de la rémanence du fer en fonction de la température, en poussant celle-ci jusqu'à la limite fournie par l'évaporation de l'air liquide.

» Les essais, effectués par la méthode du galvanomètre balistique, ont porté sur un échantillon de fer forgé, en forme de cylindre creux à section rectangulaire, sur lequel étaient enroulés les circuits inducteur et induit. Les dimensions de ce cylindre étaient les suivantes : diamètre extérieur, 39,2 mm ; diamètre intérieur, 25,5 mm ; épaisseur, 23,6 mm. Il était placé dans un récipient Dewar et d'Arsonval, a double paroi argentée et vide intermédiaire ; la température désirée était obtenue très commodément, d'abord à l'aide d'un liquide difficilement congelable (éther de pétrole léger), refroidi au degré voulu par l'évaporation rapide d'air liquide contenu dans un tube à essais de grand diamètre agité dans le liquide, et ensuite par de l'air liquide seul. Pour la pratique de ces essais à basse température, il peut être intéressant de noter que les thermomètres à toluène dont je me servais, gradués jusqu'à — 150° par M. Baudin en extrapolant les résultats des expériences de M. Villard pouvaient mesurer facilement les températures jusqu'à — 130°, la congélation du toluène se produisant brusquement entre — 140° et — 150° de l'échelle, avec augmentation de volume.

» Les résultats des essais n'ayant presque pas varié avec la température, les chiffres relatifs aux températures extrêmes + 25° et — 185° seront seuls indiqués.

» En soumettant le circuit inducteur à l'intensité maxima choisie, puis inversant brusquement, on obtient au balistique une élongation proportionnelle à la perméabilité dans les conditions de température choisies ; ensuite, faisant varier le courant par sauts suc-

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 409, séance du 21 août 1899.

cessifs de $+ I_{max}$ à o, puis à $- I_{max}$, revenant de même à o, puis à $+ I_{max}$ et notant les élongations partielles successives, on réunit les éléments nécessaires pour la construction de la courbe d'hystérésis dans ces mêmes conditions.

» Les deux tableaux ci-dessous indiquent les résultats que traduisent les courbes I et II de la figure 1.

Température : + 25°; Champ inducteur max. : 35,2 C. G. S. ;
Induction max. : 15 000 C. G. S. environ.

$\mathcal{H} = \frac{4\pi n I}{10 l}$	ε totale.
de + 35,2 C. G. S. à — 35,2 »	132

$\mathcal{H}$	ε partielles de $+ \mathcal{H}_{max}$ à o.	de o à $- \mathcal{H}_{max}$.	de $- \mathcal{H}_{max}$ à o.	de o à $+ \mathcal{H}_{max}$.
35,2	»	8	»	8,0
25,1	2,5	9,5	2,0	8,5
17,4	2,5	12	2,2	11
11,7	3,0	36	3,0	36
5,9	5,5	34	6,0	35,5
2,0	6,5	8	6,5	7,5
0	5,0	»	6,0	»

Température : — 185°; Champ inducteur max. : 35,2 C. G. S. ;
Induction max. : 15 000 C. G. S. environ.

$\mathcal{H} = \frac{4\pi n I}{10 l}$	ε totale.
de + 35,2 C. G. S. à — 35,2 »	129

$\mathcal{H}$	ε partielles de $+ \mathcal{H}_{max}$ à o.	de o à $- \mathcal{H}_{max}$.	de $- \mathcal{H}_{max}$ à o.	de o à $+ \mathcal{H}_{max}$.
35,2	»	8,5	»	8,5
25,1	2,0	9,5	2,2	9,5
17,4	2,5	13	2,6	12,5
11,7	3,0	36	2,8	36
5,9	5,5	31	6,0	31,5
2,0	6,0	7	6,5	7
0	6,0	»	5,5	»

» On voit que, pour l'induction maxima employée, soit environ 15 000 C.G.S., la perméabilité à — 185° diffère de moins de 2,5 p. 100 de ce qu'elle était à + 25°. L'hystérésis est également très sensiblement constante, comme le montre la superposition presque parfaite des deux courbes.

» Un autre essai, pour une induction voisine de 10 000 C.G.S., a montré une diminution plus accentuée de la perméabilité aux basses températures, soit 5 p. 100, mais le manque d'air liquide ne m'a pas permis d'approfondir le fait.

» *En résumé*, ces expériences confirment jusqu'à — 185° les conclusions que M. Thiessen [1] a tirées d'essais poussés à — 80° seulement, à savoir que, pour des inductions considérables, la perméabilité et la perte hystérétique du du fer resteraient constantes, sauf une légère tendance à la diminution.

» D'après ce qui précède, mes essais vérifient également autant que j'ai pu m'en rendre compte, cette autre conclusion du même auteur, en contradiction avec les résultats

(1) *Physical Review*, février 1899.

antérieurs de Dewar de Fleming, que pour de faibles inductions, la perméabilité et l'hystérésis diminuent au contraire d'une manière très notable avec la température [1]. »

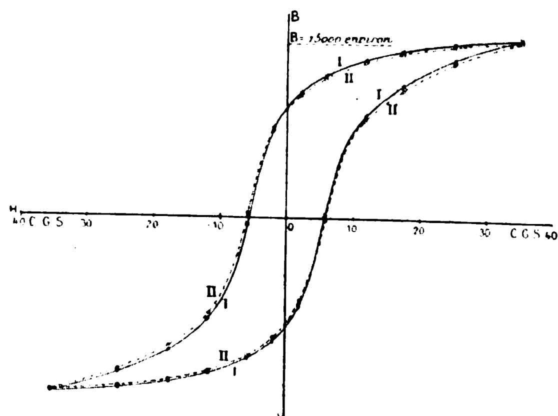


Fig. 1. — Hystérésis d'un cylindre de fer doux.
Courbe I. Essai à + 25°, x points d'expériences.
Courbe II, Essai à — 185°, o points d'expériences.

Mesure de l'hystérésis pour de faibles valeurs de l'induction;

Par H.-S. Webb [2].

Les mesures ont porté sur un noyau formé de 7 fils de fer de chacun 0,1014 cm de diamètre et 240,5 cm de longueur; la méthode employée est celle de W.-S. Franklin [3], dont le principe est le suivant : le noyau étant suspendu verticalement sous le plateau d'une balance, et en équilibre, après l'avoir aimanté par un champ uniforme + H, on fait déplacer de haut en bas une petite bobine qui l'entoure et qui produit un champ — H. Il faut alors pour maintenir l'équilibre ajouter dans l'autre plateau un poids F, et on démontre (voir l'analyse du travail de W.-S. Franklin) que l'énergie dissipée par hystérésis par centimètre carré est

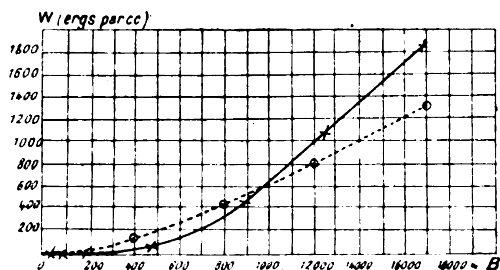


Fig. 1.

$$W = \frac{F}{S},$$

S désignant la section du noyau.

La figure 1 donne les résultats obtenus pour différentes valeurs de l'induction (déterminées par la méthode du galvanomètre balistique); l'auteur a cherché à représenter ces résultats par une formule de la forme

$$W = \eta B^{\varepsilon};$$

mais la courbe qui représente les valeurs de W déduites de l'expression de cette forme qui représente le mieux les résultats obtenus diffère encore beaucoup de la courbe expérimentale, ce qui est peu favorable à la correction de la formule de Steinmetz pour les faibles valeurs de l'induction.

(La courbe en trait plein est la courbe expérimentale et la courbe pointillée, la courbe $W = \eta B^{\varepsilon}$, pour laquelle on aurait $\eta = 0{,}027$ et $\varepsilon = 1{,}45$.) Ch. M.

Fonctionnement des électrodes à gouttes;

Par W. Palmaer [1].

Sur les électrodes à gouttes;

Par G. Meyer [2].

Dans la théorie que Nernst a donnée de l'électrisation par contact, le fonctionnement d'une électrode à gouttes s'explique de la manière suivante.

---

(1) Ces recherches ont pu être faites au Laboratoire central d'électricité, grâce à l'extrême obligeance de MM. Laporte et David, chefs des travaux pratiques.

(2) H.-S. Webb, *The Physical Review*, t. VIII, p. 310-313, 1899.

(3) W.-S. Franklin, *Ib.*, t. II, p. 466-469, 1895 et *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 571, 1895.

(1) *Zeitsch. f. phys. Chemie*, p. 265-283, fév. 1898.

(2) *Wied. Ann.*, t. LXVII, p. 433-438, fév. 1899.

Soit une électrode dont l'électrolyte soit une dissolution saturée de calomel dans l'eau. Avant que l'écoulement n'ait commencé, il existe entre le mercure du tube B ou le mercure dans le fond du vase C (fig. 1), et l'électrolyte, la différence de potentiel

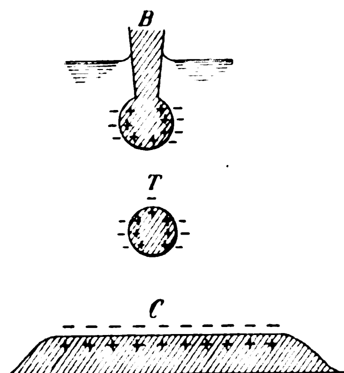


Fig. 1.

$$E = RT \log \frac{P}{p}$$

P étant la tension de dissolution du mercure et p la pression osmotique de l'ion de mercure Hg. Dans le cas considéré, $P > p$, la dissolution est chargée négativement et le mercure positivement. Pour créer la couche double à la pointe capillaire, il faut que les ions de mercure passent en certaine quantité en B, tandis que les ions de chlore correspondants s'amassent à la surface de séparation. Quand l'écoulement commence, il se produit tant à la pointe capillaire que sur la goutte détachée de nouvelles surfaces de séparation, sur lesquelles doit se faire immédiatement la différence de potentiel E. Il est donc nécessaire que, de nouveau, des ions de mercure se séparent de la dissolution pour se réunir au mercure de la pointe et à celui de la goutte, et cette goutte T entraîne dans sa chute les ions de chlore. La dissolution s'appauvrit donc au voisinage de la pointe et s'enrichit au contraire en C où les ions de chlore entraînés par la goutte reforment du calomel. Si on avait $P > p$, ce serait le contraire qui se produirait.

D'après cette manière de voir, le système formé en reliant le mercure supérieur au mercure inférieur par un conducteur extérieur constitue une pile de concentration dont la force électromotrice a pour valeur :

$$E = RT \log \frac{x}{c}$$

x étant la concentration du mercure à la pointe, c cette concentration sur la surface extérieure.

La variation de concentration est contrariée d'autre part par la diffusion que favorisent les mouvements du liquide agité par la chute des gouttes. Pour diminuer l'influence de cette diffusion, M. Palmaer dispose l'électrode comme le représente la figure 2,

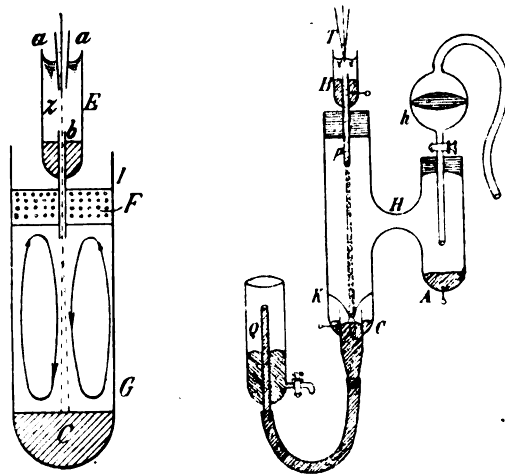


Fig. 2 et 3.

qui s'explique d'elle-même. La dissolution du petit réservoir E peut perdre tout son sel de mercure par la chute des gouttes et n'en reçoit que très peu par diffusion. Le mercure versé autour du tube b sur la soudure des deux tubes permet de comparer la différence de potentiel entre le mercure et l'électrolyte à celle d'une électrode normale.

Pour déterminer la concentration des ions de mercure, M. Palmaer mesure la différence de potentiel entre une surface de mercure en contact avec la dissolution étudiée et une surface de mercure en contact avec une dissolution dont la concentration est constante.

L'électrode à écoulement T (fig. 3) est fixée au moyen d'un bouchon sur l'une des branches d'un tube en forme de H à branches d'inégale longueur. Le tube large porte un fil de platine scellé dans le verre et qui plonge dans du mercure versé dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes. Au fond de la branche de droite du tube en H, se trouve du mercure en communication avec l'extérieur par le fil de platine A; à la partie supérieure de cette branche se trouve la pipette à robinet h_1 destinée à introduire l'électrolyte. L'électrolyte contenu dans cette branche n'est altéré ni par l'écoulement du mercure ni par une autre cause. Par ce dispositif, on peut mesurer la différence de potentiel entre A et B avant et après l'écoulement; avant, elle est presque nulle; après, A est nettement positif. Pour mettre en évidence l'accroissement de concentration en C où se rassemble le mercure, on dispose à la partie inférieure du tube H une pièce semblable à l'électrode à gouttes; la variation de concentration se localise dans l'électrolyte limité par le tube extérieur et par le tube conique K et on mesure comme ci-dessus la différence de potentiel entre le platine A et le platine C, ce dernier communiquant avec le mercure en contact avec l'électrolyte. La pièce Q est destinée à maintenir constant le niveau du mercure en C. On observe que, pendant l'écoulement C devient négatif vis-à-vis de A.

Les différences de potentiel observées sont de l'ordre du dixième de volt. Elles sont notablement plus grandes entre le mercure A et le mercure B_1 de l'électrode : près de trois fois plus grandes, ce qui s'explique facilement, puisque c'est au voisinage immédiat de la pointe capillaire que la concentration doit varier le plus.

La différence de potentiel A|B croît d'une manière très appréciable avec la pression sous laquelle on fait s'écouler le mercure : la différence A|B_1 croît plus lentement et paraît tendre vers une limite.

Quand on augmente le diamètre du tube d'écoulement, on trouve des différences de potentiel plus petites, sans doute parce que les deux masses liquides sont moins bien séparées. Les résultats deviennent plus incertains quand le point où se brise la veine se trouve trop bas : la meilleure position est au niveau du ménisque B.

Il faut 5 minutes environ pour que la différence de potentiel A|B s'établisse et elle conserve ensuite une valeur à peu près constante.

Si la différence de potentiel résulte de la variation de la concentration, elle doit subsister encore quelque temps après que l'écoulement du mercure a cessé, pourvu qu'on évite l'agitation du liquide. Cette dernière condition est difficile à réaliser; cependant on constate effectivement qu'une partie de la différence de potentiel subsiste après que l'écoulement a cessé, tandis qu'elle tombe immédiatement à 0 quand on agite le liquide. Au début le mercure s'émulsionne dans la dissolution : la dissolution ainsi émulsionnée se comporte vis-à-vis d'une dissolution limpide comme le mercure en repos vis-à-vis de celui qui reçoit les gouttes.

M. Meyer a répété les expériences de M. Palmaer et confirmé l'exactitude de ses observations. Mais il fait remarquer que ces résultats peuvent s'expliquer tout aussi bien dans la théorie de Warburg. Warburg a montré que le mercure en contact avec un électrolyte qui renferme en dissolution un sel de mercure, condense sur sa surface le sel de mercure et attribue à cette circonstance la diminution de la tension capillaire du mercure dans l'électrolyte que provoque la présence du sel de mercure dans ce dernier. Les considérations qu'il a développées s'appliquent à tout métal liquide M en contact avec la dissolution d'un sel quelconque, si cette dissolution renferme en outre un sel dont la base renferme le métal M et dont l'acide est le même que celui de l'autre sel. Les métaux dont la tension capillaire vis-à-vis d'une dissolution saline diminue par l'addition d'un de leurs sels, concentrent le sel à leur surface, tandis que cette condensation n'a pas lieu si la ten-

sion capillaire ne varie pas. Il y a donc lieu de distinguer entre les métaux qui condensent et ceux qui ne condensent pas.

M. Meyer a étudié cette influence du sel ajouté sur la tension capillaire pour différents amalgames [1], en mesurant la longueur des ondes qui se produisent sur une veine d'amalgame de section elliptique dans l'électrolyte avant et après l'addition du sel. Cette addition n'a aucune influence sur la tension capillaire de l'amalgame de zinc vis-à-vis des sulfates et des chlorures, de l'amalgame de cadmium vis-à-vis des acétates, des chlorures et des sulfates, du mercure vis-à-vis du cyanure de potassium : au contraire, une diminution de la constante se produit avec le mercure dans les sulfates et les chlorures, l'amalgame de cadmium dans l'iodure de potassium, l'amalgame de cuivre dans les sulfates, les chlorures, les acétates et les azotates. D'après lui le fait observé par M. Palmaer qu'une veine de mercure appauvrit la dissolution dans son voisinage peut s'expliquer parce que chaque goutte de mercure condense le sel de mercure à sa surface et l'entraîne dans sa chute. S'il en est ainsi l'expérience doit réussir avec les métaux condensants et échouer avec les autres. Effectivement les expériences effectuées par M. Meyer avec un appareil construit comme celui de M. Palmaer, prouvent qu'il en est ainsi. La dissolution s'enrichit au contact de la surface qui reçoit les gouttes, quand le métal qui s'écoule est un métal condensant ; la variation de concentration est au contraire très faible quand le métal ne condense pas.

Les expériences de M. Palmaer ne réalisent donc pas une démonstration nécessaire de la théorie de Nernst.

M. L.

(1) MEYER. *Wied. Ann.* LIII, p. 849. 1894.

CORRESPONDANCE

Sur l'étincelle globulaire ambulante.

Monsieur le Directeur,

Dans le numéro du 15 juillet dernier de votre estimé journal, je trouve, page 76, une note tirée des *Comptes rendus* laquelle a pour sujet une forme de décharge globulaire, découverte par M. le Dr Leduc.

L'expérience est la suivante :

« Lorsque deux pointes métalliques très fines et bien polies, en rapport chacune avec les pôles d'une machine électrostatique, reposent perpendiculairement sur la face sensible d'une plaque photographique au gélatinobromure d'argent *placée sur une feuille métallique*, les deux pointes étant à 5 cm ou 10 cm l'une de l'autre, il se produit une effluve autour de la pointe positive, tandis qu'à la pointe négative il se forme un globule lumineux ; lorsque le globule a atteint une grosseur suffisante on le voit se détacher de la pointe, *qui cesse complètement d'être lumineuse*, se mettre en route, se déplacer lentement sur la plaque, faire des détours, s'arrêter, puis partir vers la pointe positive ; lorsqu'il arrive à celle-ci, l'effluve s'éteint, tout phénomène lumineux cesse et la machine se désamorce *comme si ses deux pôles étaient unis par un conducteur*. »

En répétant ces expériences j'ai trouvé des faits qui m'ont conduit à une explication bien simple du phénomène et c'est pour cette théorie que je demande un peu de place dans votre journal.

Après la lecture de l'article dans le numéro indiqué j'ai aussitôt pensé à une action électrolytique, mais je ne pouvais pas trouver quel était le rôle de la feuille métallique.

Or, l'expérience m'a montré que *la feuille pouvait être omise* et même qu'elle réussit mieux sans feuille métallique sous la plaque.

Cela s'explique, parce que l'électricité qui part de la pointe positive se répand sur la plaque et il y a beaucoup de pertes vers la feuille métallique ; sans celle-ci l'électricité va plus directement vers la pointe négative et l'effluve qui d'abord entourait la pointe positive est plus distinctement dirigée vers la cathode.

Voici maintenant ma théorie après laquelle je donnerai les faits qui m'y ont conduit.

Le faible courant électrique qui va sur la face sensible de la plaque photographique exerce une action électrolytique sur le gélatinobromure d'argent et il se forme à la pointe négative un dépôt d'argent métallique. Le « globule » lumineux qui se produisait primitivement à l'extrémité de la pointe se produira alors sur le dépôt d'argent constituant un prolongement de la cathode. Il est donc clair que la pointe doit *cesser complètement d'être lumineuse*.

Mais par l'effet de l'électrolyse le dépôt d'argent s'allonge vers la pointe positive et comme le globule lumineux se produit à l'extrémité du dépôt, on a l'aspect d'un globule qui se meut sur la plaque; enfin la pointe positive est atteinte et les deux pôles de la machine *sont véritablement unis par un conducteur*; la machine se désamorce.

Cette explication me parait bien simple et voici les faits observés qui m'y ont amené :

1° Le « globule » est lié à la pointe négative, car tout mouvement de celle-ci sur la plaque fait aussitôt disparaître le globule qui recommence d'ailleurs à se former à la pointe négative et à se mouvoir en suivant un autre trajet. Ceci est d'accord avec ma théorie, car un déplacement de la pointe casse en deux l'électrode négative et alors il est clair que le « globule » brillant doit se montrer à la pièce qui est en contact avec le pôle de la machine, c'est ici la pointe primitive;

2° Un mouvement de la pointe positive sur la plaque (sans rompre le contact) est sans effet sur le « globule ».

3° Lorsque le « globule » a atteint la pointe positive et que l'on déplace celle-ci, il se forme un nouveau « globule » à l'endroit où la pointe positive se trouvait;

4° Lorsque le « globule » coupe le trajet d'un autre, tracé dans une expérience antérieure, on voit le « globule » paraître à la fin de ce trajet qui est le plus près de la pointe positive.

Ces faits s'expliquent bien nettement à l'aide de ma théorie.

J'espère vous envoyer plus tard les résultats des expériences que je me propose de faire sur d'autres sels métalliques, pour voir si l'effet se produit aussi avec d'autres substances que le gélatino-bromure d'argent.

Veuillez, etc.

J.-M. Gritters Doublet,
Étudiant à l'École Polytechnique de Delft.

La Haye, 26 août.

NÉCROLOGIE

Albert Hess.

Triste tâche, qu'une longue intimité me vaut aujourd'hui, il me faut apprendre aux lecteurs de *L'Éclairage Électrique* la mort d'un ami qui fut aussi le leur. Étreint par une embolie, Albert Hess meurt à trente et un ans, laissant derrière lui, si jeune, un bagage qui était déjà une œuvre...

Je n'ai pas à dire ici quel collaborateur précieux fut pour *La Lumière Électrique* au déclin, pour *L'Éclairage Électrique*, encore nouveau venu, l'ami que nous regrettons : dans ces articles qui s'échelonnent, pressés, au cours de ces dix dernières années, il y a le meilleur de lui-même.

Presque au sortir de l'École de Physique et de Chimie, en butte aux difficultés de l'existence dans ce qu'elles ont de plus terre à terre, de plus démoralisant, il venait prendre à la *Lumière Électrique* une place d'abord secondaire, bientôt prépondérante. A la confection de ces articles que lui imposait la nécessité du pain quotidien, à cette mise en œuvre journalière des idées des autres, peu à peu il apprenait à penser, il s'apercevait qu'il avait à mettre en culture un riche fonds personnel. Et bientôt des conceptions originales d'un ordre élevé prenaient corps, comme ces études sur les diélectriques [1], où les phénomènes de charges et de décharges résiduelles des câbles, connus jusque-là de façon tout à fait empirique, étaient soumis à l'analyse de mathématique la plus originale ; comme ces études sur les rayons cathodiques encore méconnus [2]; ces méthodes de mesure des différences de phases entre courants alternatifs [3], tant d'au-

[1] *La Lumière Électrique*, t. XLVI, p. 401 et 507. Novembre 1892.

[2] *Ibid.*, t. LIII, p. 91. Juillet 1894.

[3] *Ibid.*, t. LI, p. 54. Mars 1894.

tres choses encore, traitées avec cette clarté, cette simplicité qui était la qualité maîtresse de son esprit.

Si les questions de science pure constituaient son terrain favori, les applications industrielles, cependant, ne le passionnaient guère moins. Un court passage dans l'industrie téléphonique, en particulier, lui avait révélé les défauts d'organisation de ces bureaux centraux dont le développement, fonction du carré du nombre des abonnés, sera bientôt acculé par la force même des choses à une infranchissable limite. En collaboration avec M. Raverot, Hess imagina alors un système de tableau multiple (1) dans lequel les propriétés des combinaisons des nombres deux à deux sont mises à profit de la plus ingénieuse façon pour réduire dans une mesure énorme, et le prix des bureaux centraux, et la difficulté des communications. Un modèle de tableau fut construit; les avantages du système apparurent, lumineux, aux ingénieurs officiels; mais l'Administration resta sourde, comme à son habitude, et les bureaux de la rue Gutemberg, virent refleurir dans leur splendeur les anciens errements.

Hess fut plus heureux sur un autre terrain. Au moment où l'acétylène fit son apparition, convaincu de l'avenir réservé à ce gaz, il me persuada d'étudier avec lui la question et de chercher à appliquer au nouvel éclairant les principes rationnels de la grande industrie. L'acétylène dissous dans l'acétone fut le fruit de ces études en commun (1), et si Hess n'a pas eu la satisfaction de voir ce produit dans la consommation courante, du moins a-t-il assez vécu pour être certain de son avenir et partir rassuré sur le sort de son infortunée jeune femme.

Dans ces derniers temps, il s'était consacré au développement du laboratoire Volta ave une ardeur que justifiaient les choses intéressantes dont il avait été chargé et dont devaient sortir à bref délai de nouveaux titres à l'attention du monde scientifique. Ces nouvelles fonctions, que lui rendait plus absorbantes l'état précaire de sa santé, l'avaient un peu distrait de ses occupations d'antan, et rares étaient devenus les articles que *L'Éclairage Électrique* recevait de lui; mais jusqu'au dernier moment, malgré les atteintes répétées de cette terrible maladie, la phlébite, il avait conservé dans toute sa lucidité cet esprit lumineux et simple qu'avec tant de bonne volonté il mettait au service de ses amis.

Et nous étions bien loin de nous attendre à cette fin si navrante... Georges CLAUDE.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 263. Août 1896.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 548. Mars 1897.

CHRONIQUE

Contrôle de la fréquence d'un courant alternatif. — M. ZENNECK (*Wied. Ann.*, LXVIII, p. 365-368) indique pour contrôler la fréquence d'un courant alternatif, une méthode basée sur la déviation des rayons cathodiques dans un tube de Braun Le tube de Braun est placé dans un champ magnétique tournant excité par le courant alternatif. Il est alimenté par une bobine d'induction munie d'un interrupteur à diapason. On règle la période du diapason jusqu'à ce que la tache fluorescente produite par les rayons cathodiques paraisse immobile : ceci indique que le nombre de vibrations par seconde du diapason est un multiple exact de la fréquence du courant; on choisit ce multiple aussi petit que possible.

Si la fréquence du courant augmente, la tache fluorescente se déplace dans le sens de la rotation du champ magnétique : si elle diminue, elle se déplace en sens inverse.

La méthode est très sensible : car il suffit que la fréquence du courant augmente ou diminue d'une unité à partir de celle sur laquelle est réglé le diapason, pour que la tache fasse un tour complet en une seconde. D'autre part, on peut encore suivre les taches quand elles font cinq tours par seconde, s'il n'y en a que deux : ce qui correspond à une variation $\pm$ 10 de la fréquence.

La méthode est donc plus sensible et applicable dans des limites plus étendues que la méthode des battements acoustiques. M. L.

Effet d'un refroidissement intense sur les pertes par hystérésis. — Au cours des recherches sur

l'effet du recuit sur la perte par hystérésis de minces feuilles de tôles comme celles qui servent à la confection des noyaux des transformateurs, M. Arthur-H. Ford (*Electrical World and Engineer*, t. XXXIV, p. 195, 5 août 1899) a soumis quelques-unes de ces feuilles à la température produite par l'évaporation de l'air liquide.

Les feuilles de tôle étudiées ont 0,35 mm d'épaisseur, 1,55 cm de largeur et 7,5 cm de longueur ; elles sont empilées de manière à former un bloc de 2,5 mm d'épaisseur. La tôle contient 0,2 p. 100 de silicium, 0,076 p. 100 de phosphore, 0,29 p. 100 de manganèse, 0,03 p. 100 de soufre et 0,10 p. 100 de carbone. La perte par hystérésis était mesurée au moyen d'un hystérésimètre de Ewing d'abord à la température de la salle, puis à celle d'ébullition de l'air liquide, puis enfin de nouveau à la température ambiante. Quatre échantillons non recuits, étaient successivement essayés. La moyenne de la perte par hystérésis, exprimée en ergs par cm³ pour une densité de 1 gauss, était

à la température ambiante. . . .	0,00124
à la température de l'air liquide.	0,00159
après réchauffement.	0,00139

A titre de comparaison, l'auteur cite les résultats suivants obtenus avec quelques autres échantillons des mêmes tôles soumis à un recuit ou trempés dans l'eau après avoir été portés à diverses températures :

	Pertes par hystérésis.
Recuit à 835°C.	0,00140
Trempés à 225°C	0,00125
Trempés à 400°C	0,00145
Trempés à 804°C	0,00150

Chemin de fer électrique à grande vitesse entre Düsseldorf et Krefeld (Allemagne). — Nous avons dernièrement annoncé à nos lecteurs l'ouverture de cette ligne à l'exploitation (*Supplément*, t. XIX, p. LXXV). Le *Street Railway Journal* du mois d'août consacre à la description de cette ligne, la première en Europe dont l'exploitation se fasse à grande vitesse, un intéressant article dont nous extrayons les renseignements suivants :

Düsseldorf, ville manufacturière très importante, est située sur la rive droite du Rhin. Krefeld, centre de l'industrie de la soie et du velours en Allemagne, se trouve sur la rive gauche du Rhin, à 22 kilomètres de Düsseldorf. En 1891, il fut question de relier ces deux villes par une voie ferrée. Il fallait pour cela construire un pont sur le Rhin. Le gouvernement allemand ne voulut pas se charger de cette construction, mais consentit, si la ville de Düsseldorf ou une compagnie quelconque construisait le pont à ses frais, à permettre la levée, au profit des constructeurs, d'un droit de péage sur les piétons et voitures utilisant le pont. A la suite de diverses négociations, une compagnie, la *Rheinische Bahngesellschaft*, fut fondée pour la construction d'un pont en face de Düsseldorf et d'une ligne à traction électrique devant relier cette ville à Krefeld.

Le pont constitue un important ouvrage d'art. Il est formé de deux travées principales de 183 m d'ouverture chacune et de plusieurs autres travées de moindre longueur aux extrémités. Le tablier supporte une chaussée sur laquelle ont été établies deux voies pour le chemin de fer ; la chaussée est assez large pour permettre aux véhicules de passer avec aisance de chaque côté des voies ; de part et d'autre se trouvent de larges trottoirs pour les piétons.

Le tracé du chemin de fer électrique étant parallèle à celui d'un chemin de fer à vapeur sur la plus grande partie de sa longueur, il était nécessaire, pour soutenir la concurrence, d'adopter une vitesse commerciale assez élevée, vitesse qui est environ de 40 km à l'heure. Pour cette raison on évita autant que possible les rampes et les chemins fréquentés; aussi la ligne ne passe-t-elle pas à travers les agglomérations qu'elle dessert, elle les touche seulement à leurs portes. La rampe la plus forte est aux approches du pont, encore n'est-elle que de 2 1/2 p. 100.

La longueur totale de la ligne de Haroldstrasse à Düsseldorf, à Rheinstrasse à Krefeld, est de 22 km. Entre Krefeld et Oberkassel, village situé en face de Düsseldorf, la voie est unique, sauf en quelques endroits où sont établies des voies de croisements. Entre Oberkassel et Düsseldorf, où le trafic local est beaucoup plus intense, la voie est double ; il en est de même sur une faible portion dans les environs de Krefeld. Toutefois sur toute la longueur de la ligne les emprises sont assez larges pour qu'on puisse établir partout la double voie quand le besoin s'en fera sentir.

Entre Oberkassel et Krefeld, la ligne est construite avec rails Vignole du type employé sur les chemins de fer de l'État prussien. Leur longueur est de 12 m et chacun d'eux est supporté par 15 traverses.

On a choisi ce type de rails pour permettre aux

plus grands wagons des chemins de fer de l'État de pouvoir circuler sur la voie électrique. Toutefois, on ne leur a donné qu'un poids de 27,5 kg par mètre, les locomotives à vapeur ne devant pas circuler sur cette ligne, la traction s'y faisant toujours par automoteurs électriques. Dans les rues des villes on emploie un rail du type Phœnix pesant 42 kg par mètre.

La construction de la voie fut commencée en juillet 1897; les travaux de terrassement et d'empierrement furent poussés très activement. A la fin de la même année on commença la construction de l'usine génératrice. Au commencement de 1898, on entreprit la construction des stations, des dépôts de voitures et des ateliers de réparations. En avril de la même année on commença la pose des voies et, en mai, celle des potences et des fils de trôlet.

L'usine génératrice est située à Oberkassel. Sa puissance a été prévue dans le but de fournir non seulement l'énergie nécessaire à la traction, mais encore celle qui pourrait être demandée par les nombreuses usines situées dans le voisinage de la ligne. La salle des machines contient deux moteurs à vapeur tandem compound, à condensation, de 270 chevaux chacun, de la *Hohenzollern Maschinenfabrik* de Düsseldorf. Ces moteurs sont accouplés directement à deux dynamos à courant continu, à enroulement en dérivation, donnant 330 ampères sous 600 volts. Un seul groupe générateur est en service, l'autre sert de réserve. La station contient encore deux survolteurs donnant une augmentation de 45 volts pour la charge de batteries d'accumulateurs situées à Fischeln, dans le voisinage de Krefeld; l'un de ces survolteurs sert de réserve. Enfin, elle renferme également un convertisseur rotatif de 2 400 watts recevant le courant à 600 volts et fournissant du courant à 110 volts pour l'éclairage de l'usine. Toute la machinerie électrique a été fournie par l'*Elektrizitaets Aktiengesellschaft* (autrefois W. Lahmeyer et Cie) de Francfort-sur-le-Mein. Un pont roulant d'une force portante de 12 500 kg complète le matériel de la salle des machines.

Dans la salle des chaudières sont deux générateurs à tubes d'eau Hohenzollern de 240 m² de surface de chauffe fournissant de la vapeur à 10 atmosphères.

La tension de 600 volts a été choisie pour réduire autant que possible le poids de cuivre nécessaire à la construction de la ligne; on ne l'a pas prise plus élevée afin de pouvoir dans l'avenir relier le chemin de fer avec les lignes électriques de tramways de Krefeld et Düsseldorf.

Le courant est amené aux voitures par deux fils de cuivre de 9 mm de diamètre supportés soit par des fils transversaux dont les extrémités sont attachées à deux poteaux en regard soit par des potences. Ces fils sont divisés en sections. Le courant est amené à chacune des sections par un feeder de 100 mm² allant d'un bout à l'autre de la ligne. Ce feeder est lui-même divisé en six sections indépendantes séparées les unes des autres par un isolateur de ligne avec commutateur de liaison; chacune d'elles est protégée par un paratonnerre. Le feeder est supporté par des isolateurs de verre fixés aux supports des fils de trôlet.

Les voitures faisant le trafic entre Krefeld et Düsseldorf sont à bogies. Chaque bogie porte un moteur de 35 à 40 chevaux monté directement sur un axe sans ressort. Ces moteurs sont à quatre pôles dont deux conséquents. Le diamètre des roues est de 800 mm. Une paire de roues avec l'armature du moteur pèse environ 2,9 tonnes. L'empattement de chaque bogie est de 1,6 m et la distance entre les milieux des 2 bogies de 5,9 m. La longueur totale de la voiture est de 12,4 m. Chaque voiture peut contenir 34 personnes assises et 16 debout. L'éclairage est assuré par 18 lampes à incandescence de 16 bougies. Le fanal contient 2 lampes dont une seulement fonctionne, l'autre étant en réserve. Le freinage est assuré par un frein à main, un frein à air et un frein électrique. Le frein à air est du système de la Standard Air Brake Company récemment décrit dans *L'Éclairage Électrique* (t. XIX, p. 180). Les voitures de remorque et les voitures de marchandises sont à simple truck. Elles portent aussi un frein à air et un frein à main.

Pour le service local à Düsseldorf et à Krefeld on utilise des voitures automotrices à simple truck pouvant contenir 16 personnes assises et 14 debout. Chaque essieu est actionné par un moteur de 20 chevaux. Les voitures de remorque, ouvertes, peuvent contenir 24 personnes assises et 16 debout.

La ligne a été mise en exploitation le 15 décembre dernier. Pour le service des voyageurs un train quitte toutes les demi-heures chaque station terminus; le service local entre Düsseldorf et Oberkassel est en outre assuré par des départs espacés de 6 à 8 minutes; à Krefeld les voitures du service local partent toutes les dix minutes.

Ajoutons que prochainement on commencera la construction d'un prolongement, long de 1,2 km, à Düsseldorf; 800 m seront équipés avec le système à caniveau souterrain de Buda-Pest. A.

Sur la production par électrolyse du tungstène cristallisé. — Dans un travail antérieur (*Écl. Élect.*, t. XVII, p. 424, 3 déc. 1898). M. L.-A. Hallopeau, a montré que l'électrolyse du paratungstate de lithium fondue, au moyen d'électrodes en platine, permet d'obtenir du tungstène cristallisé, mélangé avec une certaine quantité de platine (jusqu'à 6 p. 100). Dans un travail récent (*Bull. Soc. Chim.*, 3e série, t. XXI-XXII, p. 266) il a obtenu des cristaux de tungstène donnant à l'analyse 99,64 de tungstène. Pour cela, il suffit de prolonger légèrement la durée de l'électrolyse et d'employer un courant d'intensité plus faible (2,6 ampères sous 15 volts, au lieu de 3 ampères sous 16 volts); la masse fondue est soumise à un refroidissement aussi lent que possible, puis traitée successivement par l'eau, l'acide chlorhydrique et la lithine. Dans ces conditions, on obtient des aiguilles de tungstène pouvant atteindre 4 mm de longueur et qu'il est possible d'isoler à l'état de pureté en les prenant une à une. Ces cristaux ont un éclat métallique gris d'acier; ils ne sont pas magnétiques.

L'électrolyse du paratungstène de lithium avec des électrodes en platine iridée, n'a pas donné de bons résultats. L'oxygène qui se dégage à l'anode donne du bioxyde d'iridium, et après traitement du produit de l'électrolyse par l'eau, l'acide chlorhydrique et la lithine, il reste des cristaux prismatiques de couleur bleu foncé qui paraissent être une combinaison d'acide tungstique et de bioxyde d'iridium; ce corps est mélangé avec une petite quantité de tungstène cristallisé et un peu de platine.

Sur une modification de l'interrupteur de Wehnelt. — Sous ce titre M. H.-Th. Simon vient de publier dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* du 22 juin une forme nouvelle de l'interrupteur de Wehnelt. Il commence par rappeler comment, suivant ses idées, fonctionne cet interrupteur. (Voir à ce propos: *Nachrichten der K. Gesellschaft der Wissenschaften*, de Gœttingue, n° 2 1899 et *Wiedemann Annalen*, juin 1899.) Ce fonctionnement n'est pas dû, comme on l'a dit, à une action électrolytique, mais bien à une action calorifique du courant. Lorsque l'on ferme le circuit, l'intensité croît suivant la formule donnée

$$I = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right).$$

Dans la disposition de l'interrupteur, le courant ne trouve en somme de résistance essentielle qu'à la surface de la pointe de platine, la chaleur dégagée par effet Joule est en quelque sorte localisée là, la température s'élève donc rapidement jusqu'à ce que la vaporisation du liquide produise une gaine gazeuse qui interrompt le courant. La condensation se produit aussitôt et le circuit se referme, et ainsi de suite. La formule représentative du phénomène est

$$T = \frac{3}{2}\frac{L}{R} + \frac{C_1 R}{E^2} + C_2$$

où T est la durée d'interruption, L le coefficient de self-induction du circuit, R la résistance de l'interrupteur, E la force électromotrice et C_1 et C_2 deux constantes. La résistance étant en somme inversement proportionnelle à la surface de l'anode, on peut, en désignant par S cette surface, poser

$$R = \frac{k}{s}$$

k étant une constante, d'où

$$T = \frac{3}{2}\frac{Ls}{k} + \frac{C_1 k}{E^2 s} + C_2$$

Telle est la formule qui représente en définitive la loi du phénomène. Il résulte de là que pour une tension donnée, le nombre d'interruptions ne dépend pas de la self-induction seule, mais du rapport de la self-induction à la résistance $\frac{L}{R}$.

Pour vérifier la relation entre la tension et la période, on laisse L et R constants. On a donc:

$$T = A + \frac{B}{E^2}$$

Dans une série de recherches de cette sorte, on a obtenu les résultats suivants; A étant égal à $125 + 10^{-5}$ et B à $860\,000\ 10^{-5}$, la formule devient:

$$T\,10^5 = 125 + \frac{860\,000}{E^2}$$

E	T 10^5 observé.	T 10^5 calculé.	DIFFÉRENCE	DIFFÉRENCE p. 100.
140	174	169	— 5	— 2,9
130	172	176	+ 4	+ 2,2
120	186	185	— 1	— 0,5
110	192	196	+ 4	+ 2
100	210	211	+ 1	+ 0,5
90	238	231	— 7	— 3
80	265	259	— 6	— 2,3
70	305	300	— 5	— 1,6
60	352	364	+ 12	+ 3,3

La vérification est très satisfaisante.

La théorie précédente a conduit le Dr Simon à la construction d'un interrupteur du genre Wehnelt dont nous allons donner la description (Brevet allemand, 19 avril 1899). Le fonctionnement de l'interrupteur de Wehnelt a pour cause la diminution de section du conducteur électrolytique produisant un fort accroissement de densité de courant à l'anode. On obtiendra donc le même résultat si l'on diminue notablement en un point la section d'une résistance liquide, suffisamment grande dans le reste du circuit; ainsi on pourra placer cet étranglement du courant après l'anode au sein même de l'électrolyte. L'expérience a confirmé pleinement cette manière de voir, Les dispositions suivantes ont été employées :

I. Un vase de plomb rempli d'acide sulfurique dilué forme une électrode: dans le liquide plonge, maintenu par un couvercle d'ébonite, un tube à essais dont le fond est traversé par un ou plusieurs trous de 1 mm de diamètre environ. Un cylindre creux de plomb sert dans ce tube de deuxième électrode. Le courant doit pour aller d'une électrode à l'autre traverser la paroi de verre percée de trous et c'est là que se produit l'interruption.

II. Une auge rectangulaire de verre, comme celles employées pour les accumulateurs est séparée en deux parties égales par une section verticale; on les recolle en interposant une mince lame de verre percée de quelques trous de 1 mm de diamètre environ. On obtient ainsi deux compartiments dans lesquels on met un électrolyte approprié et l'on y fait plonger les deux électrodes. L'interruption se produit encore comme dans le dispositif Wehnelt.

La lueur que l'on observe dans ces ouvertures, comme à l'anode de l'interrupteur de Wehnelt, provient de l'extra-courant de rupture qui traverse la couche gazeuse et la porte à l'incandescence. Il est à remarquer en outre qu'un violent dégagement de bulles gazeuses se produit au voisinage des ouvertures, comme si l'élévation de température était en cet endroit si forte et si soudaine que non seulement il y ait vaporisation mais aussi dissociation de la vapeur d'eau.

Voici encore une forme de l'interrupteur, forme assez pratique : deux récipients avec l'électrolyte et les électrodes sont réunis par un tube en U renversé, rempli du même liquide, mais contenant une assez forte bulle d'air, le rétrécissement de la section dû à cette bulle provoque les interruptions.

A la place des trous percés dans la paroi d'un des interrupteurs précédents, on peut employer une fente, ce dispositif a l'avantage de permettre le réglage du nombre des interruptions, comme on l'obtient dans l'interrupteur de Wehnelt en faisant varier la surface de l'anode.

Les ouvertures percées dans le verre durent longtemps et présentent une grande constance, il n'en est pas de même avec le mica. Comme électrolyte on peut, pour éviter le dégagement gazeux aux électrodes, employer du sulfate de cuivre avec des électrodes de cuivre.

Les interrupteurs décrits ont l'avantage de fonctionner dans n'importe quel sens de courant, ils marchent également avec le courant alternatif. L'échauffement produit par le courant est ici une circonstance favorable; on peut par suite éviter les surfaces de refroidissement ce qui permet de diminuer les dimensions de l'appareil. G. G.

Conductibilité électrique des flammes contenant des vapeurs métalliques. — Dans une récente communication à la Royal Society de Londres, reproduite par *The Electrican* (t. XLIII, p. 448, 21 juillet 1899), M. H.-A. Wilson fait connaitre les résultats de ses expériences sur ce sujet.

La flamme était obtenue en faisant brûler à l'extrémité d'un tube de laiton de 7 mm de diamètre un mélange de gaz d'éclairage et d'air chargé de gouttelettes de solution saline par son passage dans une telle solution. Le cône intérieur, de couleur verdâtre, de la flamme avait une hauteur de 1,5 cm ; la hauteur du cône extérieur était de 7,5 cm. La flamme pouvait être reproduite dans des conditions suffisamment identiques pour que les mesures électriques faites à plusieurs jours d'intervalle, avec la même solution saline, donnent des résultats ne différant pas de plus de 1 à 2 p. 100.

Pour évaluer la conductibilité on plaçait dans la flamme, à des hauteurs différentes, deux toiles en fils de platine reliées aux pôles d'une source d'électricité et l'on mesurait l'intensité du courant traversant le circuit ainsi formé. On obtint les résultats suivants : 1° Quand l'électrode positive est la plus élevée dans la flamme et pour de grandes différences de potentiel entre les électrodes, l'intensité du courant est indépendante de la distance entre ces électrodes pourvu toutefois que l'électrode supérieure ne soit pas amenée dans les régions relativement froides de la flamme ; quand elle est amenée dans ces régions l'intensité devient plus petite, mais si on chauffe l'électrode en la faisant traverser par un

courant auxiliaire intense, l'intensité redevient indépendante de la distance des électrodes, même quand l'électrode supérieure est au-dessus de la pointe de la flamme; 2° Pour une même distance entre les électrodes et pour des forces électromotrices croissantes, l'intensité du courant augmente d'abord, puis prend une valeur sensiblement constante quand l'une et l'autre électrodes sont dans des régions chaudes; il en est encore de même, mais avec cette différence que l'intensité tend moins rapidement vers la valeur limite, quand l'électrode positive est dans la région élevée et relativement peu chaude de la flamme; au contraire quand c'est l'électrode négative qui se trouve dans les régions relativement froides, l'intensité du courant augmente sans paraitre tendre vers une valeur limite; l'intensité est beaucoup plus grande quand l'électrode négative est dans les régions chaudes et l'électrode positive dans les régions froides que quand les électrodes sont disposées d'une manière inverse.

M. Wilson a aussi étudié comment varie le potentiel dans la partie de la flamme comprise entre les électrodes. Pour cela il plongeait dans la flamme l'extrémité d'un fil de platine isolé et mesurait la différence de potentiel entre cette électrode parasite et l'une des électrodes principales. Il a constaté que quand ces dernières sont toutes deux dans des régions chaudes la variation du potentiel entre elles est semblable à celle que l'on observe dans les gaz raréfiés, c'est-à-dire qu'il y a une variation brusque du potentiel entre chaque électrode et des points voisins, cette variation étant beaucoup plus accusée du côté de l'électrode négative que du côté de l'électrode positive, et qu'il y a une variation lente et régulière dans l'intervalle des électrodes. Quand l'une des électrodes est dans les régions froides la chute de potentiel entre cette électrode et un point voisin devient plus accusée et souvent presque égale à la différence de potentiel totale entre les électrodes; si c'est l'électrode positive qui est la plus élevée et par conséquent la plus froide, la chute de potentiel dans son voisinage est pratiquement égale à la différence totale; en accroissant peu à peu cette différence totale on observe une chute dans le voisinage de l'électrode négative et cette chute croît et finit par devenir plus grande que la chute dans le voisinage de l'électrode positive pour des valeurs suffisamment élevées de la force électromotrice située dans le circuit.

M. Wilson a pensé que ces phénomènes proviennent de ce que la vapeur du sel entraîné par le gaz se décompose en ions au contact des toiles de platine chaudes, mais qu'il n'y a pas décomposition dans le corps de la flamme. Il a fait de nombreuses expériences confirmant cette manière de voir, entre autres celle-ci qui indique que l'ionisation ne se produit qu'au contact des électrodes : on fait passer un courant entre deux feuilles de platine placées en regard l'une de l'autre dans une flamme ne contenant pas de vapeur saline; ensuite on place dans la flamme un morceau de sel marin : tant que la vapeur de ce sel, entrainée par la flamme, ne vient pas en contact avec les électrodes on n'observe aucune variation de l'intensité du courant; mais dès qu'il y a contact avec l'une des électrodes l'intensité croît brusquement, l'accroissement étant beaucoup plus grand quand le contact a lieu avec l'électrode négative quand il a lieu avec l'électrode positive.

M. Wilson a d'ailleurs mesuré la vitesse des ions positifs et des ions négatifs mis en liberté au contact des toiles métalliques. Pour cela il cherchait la variation de potentiel par unité de longueur qu'il était nécessaire de produire dans la flamme pour forcer les ions à parcourir cette flamme de haut en bas malgré leur entrainement en sens inverse par le courant gazeux. Il a trouvé que les ions positifs des sels de potassium, sodium, lithium, rubidium et cœsium ont une vitesse d'environ 60 cm : sec pour une variation de 1 volt par centimètre et que dans les mêmes conditions, les ions négatifs ont une vitesse d'environ 1000 cm : sec, soit à peu près 17 fois plus grande que celle des ions positifs.

La décomposition du sel en ions positifs et négatifs animés de différentes vitesses permet, en effet, d'expliquer les phénomènes relatés plus haut. Par exemple quand c'est l'électrode négative qui est dans une région chaude elle donne naissance à un très grand nombre d'ions négatifs; ceux-ci se portant avec une très grande vitesse vers l'électrode positive transportent une grande quantité d'électricité par unité de temps et l'on doit avoir un courant intense. Quand au contraire c'est l'électrode positive qui est dans la région chaude, la quantité d'électricité transportée par unité de temps d'une électrode à l'autre par une même quantité d'ions positifs doit être plus faible que dans le cas précédent puisque les ions positifs ont une vitesse moins grande que les ions négatifs; par suite l'intensité du courant doit être de beaucoup inférieure à celle obtenue dans le cas précédent avec la même apparence de potentiel entre les électrodes.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XX. Samedi 23 Septembre 1899 6e Année. — N° 38.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

CHAUDIÈRES A ÉMULSEURS DUBIAU

DE LA STATION CENTRALE DE VIENNE

Nous n'avons pas à faire connaître à nos lecteurs le principe des émulseurs de vapeur Dubiau : il a été très clairement expliqué dans ces colonnes par M. G. Pellissier, il y a quatre ans, dans l'un des articles qu'il a écrits à cette époque sur les installations électriques de Bordeaux [1]. Nous rappellerons seulement que l'émulseur Dubiau consiste en un faisceau de tubes placé dans la chaudière en un endroit qui dépend du type de chaudière employé et produisant une circulation active de l'eau dans toutes les parties du générateur de vapeur.

« La circulation énergique de l'eau dans les chaudières, disait M. Pellissier, a plusieurs effets bien distincts. D'abord elle augmente la sécurité, qu'elle rend parfaite en assurant le mouillage constant des tôles de coups de feu ; ensuite elle permet d'augmenter la puissance spécifique de vaporisation, et par conséquent de diminuer les frais d'installation et d'entretien rapportés à l'unité de puissance ; enfin en facilitant la transmission de la chaleur par suite de la diminution des résistances inertes provenant de l'interposition des matières peu conductrices de la chaleur, telles que dépôt boueux et matelas de vapeur, elle permet d'augmenter le rendement des chaudières, c'est-à-dire la quantité de vapeur pour une consommation déterminée de combustible. »

L'augmentation de la puissance de vaporisation et du rendement par l'emploi d'émulseurs Dubiau se trouvait dès cette époque démontrée par les essais comparatifs faits en octobre 1894 par M. E. Schmitz, ancien ingénieur de la Compagnie du gaz, sur une chaudière semitubulaire à retour de flamme, par M. Derry, directeur de la station d'éclairage électrique de Dieppe, sur des chaudières de cette station, et enfin par les essais exécutés par les directeurs des stations de Bordeaux, essais dont les résultats sont consi-

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, du 28 septembre 1895, t. IV, p. 588.

gnés dans l'article mentionné précédemment.

Depuis cette époque, les émulseurs Dubiau se sont répandus dans de nombreuses usines électriques, non seulement en France, mais aussi et surtout en Russie, en Allemagne et en Autriche. Parmi ces installations nouvelles, l'une des plus intéressantes est celle qui a été faite dans la plus importante des usines génératrices de Vienne, l'usine de la Internationale Elektricitaets Gesellschaft, où ont été exécutés plusieurs essais officiels qui nous ont paru utiles à signaler aux ingénieurs.

La première installation d'émulseurs Dubiau dans l'usine de Vienne remonte au milieu de l'année 1897. Les conditions à remplir étaient les suivantes :

1° Placer quatre nouvelles chaudières dans un emplacement déterminé.

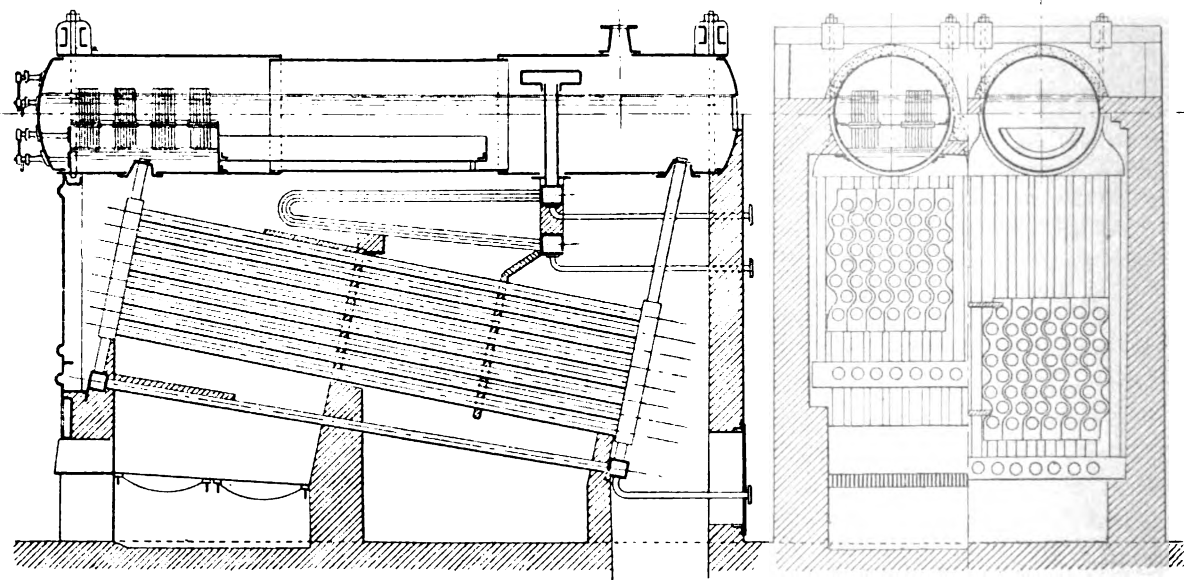


Fig. 1 et 2. — Chaudières Babcock et Wilcox avec émulseurs Dubiau.

2° Conserver le type multitubulaire Babcock et Wilcox dont on était satisfait.

3° Augmenter la puissance de production et le rendement de chaque unité.

Voici la solution apportée à ce problème par M. Bellens qui dirige à Paris la société exploitant les brevets Dubiau.

Les figures 1 et 2 donnent l'ensemble de l'une des quatre nouvelles chaudières.

Le faisceau tubulaire est surmonté de deux tubes cylindriques, auxquels il se raccorde, à l'avant, pour le dégagement de la vapeur ; à l'arrière, pour le retour de l'eau. La rangée des tubes du bas est séparée des autres tubes par un espace intermédiaire destiné à constituer une chambre de combustion. Cette disposition existait déjà sur le type de chaudière, les deux collecteurs réunissant les tubes du bas à l'avant et à l'arrière étant réunis à chaque collecteur vertical des tubes supérieurs, par de petits tronçons de tubes.

Voici les changements apportés à la disposition d'ensemble. On a supprimé quatre éléments verticaux de tubes, les deux extrêmes en largeur et les deux du milieu ; les collecteurs transversaux de la rangée des tubes du bas ont été réunis directement au corps supérieur par huit tubes de communication directe, quatre à l'arrière et quatre à l'avant. Les espaces vides produits dans le faisceau tubulaire par la suppression des quatre éléments verticaux, ont été aménagés avec des chicanes en carreaux réfractaires, pour empêcher que les gaz ne parcourussent

de préférence ces espaces, et les forcer à lécher les surfaces de chauffe.

Au-dessus des débouchés de la vapeur dans les corps supérieurs, est monté un caisson portant les faisceaux de tubes émulseurs dont le but est d'assurer la circulation régulière et ininterrompue de l'eau, dans les éléments tubulaires du générateur. Le volume d'eau mis en mouvement dans chaque chaudière est de 105 litres par seconde. On voit ainsi qu'en démontant les caissons et les émulseurs, on se trouve en présence d'un générateur ordinaire de ce type. Enfin on a adjoint à la chaudière un surchauffeur de vapeur, placé entre la fin du premier parcours et le commencement du second. La surface de chauffe de la chaudière ainsi modifiée était de 213 m², la surface de surchauffe de 35 m².

En novembre 1897, des essais furent faits sur ce groupe de quatre chaudières par l'Association autrichienne des propriétaires de chaudières à vapeur. Les résultats de ces essais, que l'on trouvera plus loin, furent excellents. Toutefois, on voulut s'assurer qu'ils se maintenaient en service courant et 16 mois après la mise en service de la nouvelle installation, de nouveaux essais furent exécutés sur les mêmes chaudières par le professeur von Radinguer, de Vienne, et l'Association autrichienne de propriétaires de chaudières à vapeur. Ils ne firent que confirmer les résultats des essais antérieurs et ce qui prouve, mieux que toute autre raison, l'excellence de ces résultats, c'est que la direction de l'usine commandait quatre nouvelles chaudières Babcock et Wilcox avec émulseurs Dubiau, en avril 1898, deux autres en janvier 1899, et décidait en avril 1899 l'application de l'émulseur Dubiau à neuf chaudières Babcock et Wilcox de chacune 300 m² de surface de chauffe précédemment installées.

Les essais officiels de novembre 1897 ont été au nombre de trois. Les relevés correspondants sont groupés dans le tableau ci-joint. Dans les essais I et III on a relevé également le travail électrique, en alimentant un même alternateur et une même machine, et en enregistrant l'énergie électrique par un compteur Blathy.

La tuyauterie de vapeur a été isolée des conduites générales : son développement était plus important dans l'essai I que dans l'essai III, fait à titre de comparaison sur une des chaudières ordinaires du même type en service à l'usine. Une tuyauterie spéciale d'alimentation était montée sur la chaudière en expérience, et l'eau était puisée par la pompe affectée aux essais dans un réservoir isolé et jaugé. A titre de contrôle, un compteur Schmid avait été intercalé sur le refoulement de la pompe. Les indications du compteur concordent à moins de 1 p. 100 près avec celles du réservoir : ce sont néanmoins ces dernières qui ont été prises pour les calculs.

Le charbon était pesé sur une bascule, par brouettes de 100 kg en poids net. On ne servait au chauffeur une nouvelle brouettée que lorsque la pécédente était épuisée. La consommation de houille de l'usine dépassant 2 000 wagons par an, et l'administration n'ayant pas donné l'autorisation de toucher à la réserve du combustible, il a fallu employer, pour chaque journée d'essai, du charbon pris sur les livraisons de la veille. Des échantillons moyens ont été prélevés par les soins de l'Association, et analysés par M. le professeur Schwackhofer de Vienne.

Enfin toutes les plus minutieuses précautions pour assurer la sincérité de cet essai, ont été prises par l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur de Vienne, qui avait délégué à cet effet trois de ses inspecteurs.

Les relevés à la machine, et celui du travail électrique ont été faits par un chef mécanicien et un chef électricien, sous le contrôle et la direction de l'ingénieur directeur de l'usine.

Le même chauffeur a été employé pour la série des essais : aucun conseil ne lui était donné pour le chauffage ; la direction de la société ayant exprimé le désir formel d'avoir

Tableau des essais sur les chaudières Babcock et Wilcox de la « Internationale Elektricitaets Gesellschaft » à Vienne.

	AVEC ÉMULSEUR I	AVEC ÉMULSEUR II	SANS ÉMULSEUR III
Date des essais (novembre 1897)	24	25	27
Durée des essais	8 h	7 h 25	7 h 25
Surface de chauffe	213 m²	213 m²	300 m²
» surchauffe	35 »	35 »	»
» grille	4,85 m²	4,85 m²	5,6 m²
Pression moyenne de la vapeur	9,07 kg	9,05 kg	9,1 kg
Degrés de surchauffe	66°,1	54°	
Température de l'eau d'alimentation	57°	51°	55°
Eau d'alimentation totale	30 470 kg	20 170 kg	25 981 kg
Charbon chargé total	4 500 »	2 700 »	4 600 »
» par heure et m² de grille	115,9 »	83,3 »	113,2 »
Vapeur produite par m² de surface de chauffe	17,6 »	12,8 »	11,8 »
Vapeur produite par kg de charbon brut	6,67 »	7,31 »	5,57 »
Pouvoir calorifique du charbon d'après l'analyse, en calories	5 985	6 624	5 619
Température moyenne des gaz au registre	312°	280°	340°
Composition des gaz au registre . . . . CO² p. 100.	8,1	9,5	8,3
O p. 100.	11,7	9,8	10,3
CO p. 100.	0,2	0,2	0,52
Relevés en travail électrique.			
Groupe électrogène en essai	B n° 1		B n° 1
Travail moyen à la dynamo en kilowatts-heure	300,15		210,80
Vapeur par kilowatt-heure	12,69		16,61
Charbon par kilowatt-heure	1,87		3,01
Kilowatts-heure par m² de surface de grille	61,88		37,64
Kilowatts-heure par m² de surface occupée	14,7		9

des résultats en service ordinaire, et non pas des résultats d'essais de parade.

Le combustible quoique de même provenance variait beaucoup comme pouvoir calorifique ainsi que le montrent les analyses des échantillons prélevés pendant les essais.

L'essai I a été fait en maintenant la chaudière à l'allure de grille ordinaire des autres générateurs de l'usine pendant la marche de la soirée ; il avaient pour but de rechercher quelles étaient à cette allure la consommation d'eau d'alimentation et de charbon par kilowatt produit.

L'essai II était un simple essai de vaporisation à l'allure de grille normale des autres générateurs de l'usine pendant les services de jour et de nuit, en dehors des heures de la charge.

L'essai III a été fait dans les mêmes conditions que l'essai I, pour pouvoir comparer la puissance et l'économie des anciennes et des nouvelles chaudières.

On voit que la puissance de la chaudière Babcock à émulseurs et surchauffeurs est supérieure de 42 p. 100 à celle de la chaudière Babcock ordinaire et qu'elle procure en même temps une économie de combustible de 34 p. 100.

Il a été fait en outre un quatrième essai en forçant la grille pendant 2 heures, pour rechercher quelle puissance pouvait être développée dans ces conditions, pendant la

Tome XX. Samedi 16 Septembre 1899 6e Année. — N° 37.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR L'EXISTENCE DE CHARGES DANS LES VAPEURS DE L'ARC ÉLECTRIQUE

Les expériences que je vais décrire ont été effectuées dans le but de montrer : 1° que dans le phénomène de l'arc électrique, à courant continu, il existe pendant le passage du courant, au voisinage des pôles, des charges électriques dans les vapeurs produites ; 2° que ces charges électriques changent de signe quand on change le signe des électrodes.

Des expériences de MM. E. Merritt et O.-M. Stewart [1] sur les propriétés que possèdent les vapeurs de l'arc à charbons de décharger un corps électrisé ont conduit ces savants à admettre l'hypothèse d'une ionisation de ces vapeurs analogue à celle des gaz chauds ou des gaz soumis aux rayons X.

Des recherches sur l'arc m'ont amené à une supposition identique pour expliquer la grande conductibilité des vapeurs.

Or, la conception d'une vapeur ionisée entraîne celle de particules charriant, les unes des charges positives, les autres des charges négatives. Ce sont ces charges que j'ai cherché à mettre en évidence. Hallwachs[1] n'a pu, en effet, déceler, dans un cas très particulier, que des charges positives.

Pour arriver au résultat cherché, j'ai employé divers dispositifs qui consistent à produire un arc vertical entre des tubes en métal ou en charbon, de façon à utiliser le tube supérieur comme une cheminée pour l'ascension des vapeurs. Le pôle inférieur sera indifféremment un cylindre plein ou un tube dont la partie inférieure sera bouchée par le porte-charbon du support-régulateur à main.

Dans l'un des dispositifs le tube supérieur est placé dans ou sous un cylindre de Faraday, isolé du sol, de façon que les vapeurs arrivent dans le cylindre, seulement par le

(1) E. Merritt et O. M. Stewart, *Physical Review*, vol. VII, n° 3, p. 129, 1898.

(1) D'après les auteurs précités, Hallwachs (*Wied. Ann.*, vol. XL, p. 332, 1890) employait un charbon à âme en étain comme pôle positif.

tube. Le cylindre est mis en relation avec l'aiguille d'un électromètre à quadrants, isolé à la paraffine d'après le modèle Boudréaux et monté suivant la méthode de M. Mascart.

La sensibilité de l'appareil est telle que, le cylindre étant mis en communication avec l'électromètre, on a constaté qu'un potentiel positif ou négatif de 1 volt donnait sur l'échelle une déviation de 7 mm. Les observations faites sont très nettes; elles le sont même d'autant plus que le diamètre du tube supérieur est plus considérable.

Un second dispositif consiste à activer le tirage et par suite la montée des vapeurs à travers le tube. A cet effet, les deux pôles sont déplacés l'un par rapport à l'autre et à l'aide d'un tube de verre effilé dont la pointe est disposée sous et presque dans le tube supérieur, on envoie un léger jet d'air. Ce dispositif donne des effets plus importants et surtout plus rapides que le précédent : en peu de temps on arrive parfois à faire sortir le spot de l'échelle.

Mais il faut avoir bien soin de se mettre à l'abri des effets de frottement qui peuvent se produire avec des jets un peu intenses, dans des tubes, en présence des poussières de désagrégation ou des oxydes, effets sur lesquels je reviendrai ultérieurement. On vérifiera donc, avec soin, qu'à froid ou à chaud, le jet d'air employé est assez faible pour ne produire par frottement aucun effet [1].

Dans un troisième dispositif, on place le tube servant de pôle supérieur sous une petite cloche de verre, de manière que les vapeurs passant par le tube puissent y pénétrer : par aspiration à l'aide d'une trompe à eau, on amène la vapeur dans un tube de laiton servant de cylindre de Faraday et relié à l'électromètre. L'isolement de l'appareil est assuré par de la paraffine. Comme d'ailleurs, dans les expériences précédentes, on protège le cylindre et le fil allant à l'électromètre. Les déviations observées nettement au début sont dans ce cas assez faibles par suite de diverses causes dont l'une des principales est probablement un effet de décharge dû à l'air chaud qui vient en contact avec l'électrode portée à une température élevée et qui est entraîné avec la vapeur.

Les expériences ont été réalisées avec des tubes de cuivre, zinc, laiton et charbon. Les tubes de charbon, provenant de la maison Berne, ont donné de bons résultats principalement en prenant pour pôle supérieur un charbon de 12 mm de diamètre intérieur et de 2 mm d'épaisseur. Les diamètres intérieurs des tubes de cuivre, laiton, zinc ont été pris différents, entre 6 et 12 mm, l'épaisseur étant d'au moins 1 mm.

Comme je l'ai indiqué on a intérêt, pour avoir de bonnes observations, à prendre un tube supérieur un peu large. Les longueurs ont été variables.

J'ai essayé successivement des arcs symétriques, c'est-à-dire compris entre deux pôles de nature identique, et dissymétriques compris entre pôles de métaux différents ou d'un métal et d'un charbon. Le zinc n'a été utilisé que comme pôle négatif à cause de sa grande fusibilité. On a aussi réalisé un arc charbon-mercure ou métal-mercure, le mercure formant le pôle inférieur; pour ce qui suit, je le mets à part et j'y reviendrai tout spécialement.

Les résultats numériques sont éminemment variables, ne serait-ce que parce que c'est une addition de charges que l'on constate. Je n'ai d'ailleurs cherché, dans ces pre-

(1) J'ai trouvé, entre autres faits, avec les tubes de charbon et des jets violents, que les particules désagrégées par la chaleur acquièrent par frottement une charge positive tandis que le tube se charge négativement.

J'ai trouvé également que dans les conditions où j'opérais, mais avec des jets violents, les limailles métalliques (zinc, cuivre, fer) se chargeaient positivement et les oxydes (ZnO, CuO, Fe^2O^3) se chargeaient négativement par rapport à un métal frotté (zinc ou cuivre) qui se charge alors de nom contraire. Mais avec les tubes métalliques servant pour l'arc, les dépôts qui se forment étant extrêmement faibles, ce phénomène n'a pas d'influence. J'ai pu en effet employer un arc horizontal et un électroscope dans le cas de jets violents sans changer le résultat des expériences donné à la fin de cet article.

L'air ordinaire ou desséché, lancé dans des tubes absolument lisses, ne donne rien, ce qui est conforme aux expériences de Faraday.

mières expériences, qu'à mettre nettement en évidence le sens du phénomène. Mais quels que soient le dispositif et la forme d'arc employés, quelle que soit l'importance des déviations, j'ai toujours observé ce qui suit :

1° Lorsque l'arc fonctionne, on remarque une déviation à l'électromètre. Cette déviation vient évidemment de la vapeur, qui montant à travers le tube arrive dans le cylindre de Faraday. Ce fait se produit lorsque le tube est hors du cylindre; la mise du pôle supérieur à la terre ne change rien. Parfois, on voit d'ailleurs que toute action cesse dès que l'arc s'éteint (avec des tubes supérieurs étroits). Mais on constate aussi, dans la très grande majorité des cas et surtout avec des tubes larges, que lorsque l'arc s'éteint il y a continuation de l'effet produit — que l'arc soit supprimé de lui-même ou éteint en tirant l'électrode inférieure ou en coupant le circuit. Ceci tient évidemment à ce que le phénomène persiste parce que des vapeurs restent dans le tube et que le tube étant subitement dégagé, l'air balaye avec quelque violence les vapeurs. La déviation de l'électromètre établit donc *qu'il y a des charges électriques dans les vapeurs au voisinage des pôles*.

2° Si le pôle supérieur est *positif* on observe dès que l'arc fonctionne une déviation à l'électromètre indiquant une charge *négative*. En renversant le sens du courant, le pôle supérieur devient *négatif;* alors, l'arc allumé, l'électromètre accuse une charge *positive*.

Voici comment on peut expliquer ces faits curieux. Quand l'arc jaillit, il se produit des vapeurs, la vaporisation des matériaux formant les pôles étant un fait acquis [1]. Ces vapeurs très chaudes sont ionisées et conséquemment chargées de particules positives et négatives.

Dans le champ électrique formé par les deux pôles ces particules chargées se meuvent de telle façon que les ions chargés positivement soient attirés au pôle négatif et les ions négatifs au pôle positif. C'est justement ce que l'on observe.

La supposition d'une ionisation de l'air n'est guère admissible; elle entraîne une conséquence, la décharge ; si ce fait même n'existait pas on ne pourrait expliquer les signes de charge observés qu'en admettant que la vapeur est chargée autour des pôles comme je l'ai trouvé.

De même la volatilisation des pôles entraînant des charges de même signe qu'eux pourrait être invoquée sans expliquer aussi nettement le phénomène; d'ailleurs pour trancher cette question, il y aurait à réaliser une expérience pour voir si, dans une vapeur rendue très chaude indépendamment du phénomène de l'arc, il n'est pas possible de séparer les charges électriques données par l'ionisation, à l'aide d'un champ électrostatique par exemple. La température à laquelle se produira ce fait doit être probablement d'autant moins élevée que la température d'ébullition du corps qui donne naissance aux vapeurs est elle-même plus basse. Je me propose de tenter cet essai.

La manière de voir précédente n'a d'ailleurs d'autre prétention que de s'appuyer sur la théorie la plus acceptable parmi les théories admises et de montrer que la supposition de MM. Merritt et Stewart paraît logique.

Je ferai simplement remarquer que cette supposition peut s'appliquer également à l'arc dans le vide et expliquer le phénomène du double transport

Bien que, seule, une expérience dans le vide puisse nettement mettre en évidence la matérialité des ions considérés j'ai remarqué qu'avec les arcs métalliques, il se produit des dépôts extrêmement pulvérulents ayant peine à être mouillés par l'eau, de couleur absolument différente des oxydes et rappelant celle des métaux ; l'analyse chimique permet d'ailleurs de retrouver les propriétés caractéristiques des métaux employés. Dans le cas où le mercure forme le pôle inférieur, on obtient facilement un miroir venant de la métallisa-

[1] On sait déjà que dans l'arc à charbons, dans le vide, il y a un abondant dépôt de charbon sur les parois.

tion de la paroi du vase de verre qui contient le liquide[1].

Comme ces faits existent, en dehors de toute hypothèse, il m'a paru intéressant de les signaler. Je poursuis actuellement ces recherches sur l'arc à courants continus ou alternatifs, tant à l'air libre que dans le vide ou un gaz donné dans le but de les généraliser et l'espoir d'arriver à fixer par quelques déterminations pour des conditions définies, sinon la loi, du moins quelques points du phénomène.

C. Chéneveau,
Préparateur à la Faculté des Sciences.
Laboratoire de M. L. Poincaré.

(1) Dans l'arc au mercure, dans le vide, étudié par Arons, sous la forme réalisée par MM. Fabry et Pérot (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1156; *Écl. Élect.*, t. XIX. p. 316, 27 mai 1899), il y a, sans doute, quelque chose d'analogue. Pour la décharge disruptive dans le vide, M. Broca (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 356; *Écl. Élect.*, t. XVIII, p. 454, 4 mars 1899) a mis aussi la métallisation en évidence.

ÉTUDE SUR LA TRANSMISSION ET LA DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE

PAR LES COURANTS ALTERNATIFS [1]

CINQUIÈME PARTIE

TRANSFORMATEURS REDRESSEURS

IV. — Transformateur-redresseur pour courants alternatifs polyphasés débités sous voltage constant (*Suite*).

Deuxième système. — Nous supposerons toujours que l'on dispose de trois forces électromotrices H_1, H_2, H_3 de même grandeur efficace, mais dont les variations présentent des différences de phases consécutives égales à $\frac{1}{3}$ de période.

Nous poserons :

$$H_1 = H \sin 2\pi\alpha t, \quad H_2 = H \sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{1}{3}\right).$$
$$H_3 = H \sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{2}{3}\right).$$

Il s'agit de déterminer, dans $2k$ sections distinctes, $2k$ forces électromotrices de même grandeur efficace mais successivement décalées de $\frac{1}{2k}$ de période telles que les suivantes :

$$h_1 = h \sin 2\pi\alpha t, \quad h_2 = h \sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{1}{2k}\right), \quad \ldots,$$
$$h_{2k} = h \sin 2\pi\left[\alpha t + \frac{(2k-1)}{2k}\right].$$

Principe de la méthode. — Chaque section se composera de trois bobines distinctes montées en série, ayant chacune un nombre constant ν de spires.

Ces bobines sont représentées schématiquement en *a*, *b*, *c*, sur la figure 54. Chacune d'elles entoure l'un des noyaux magnétiques X, Y et Z.

Ces noyaux sont aussi recouverts par des circuits primaires, *m*, *p*, *q*, branchés entre les trois sources de force électromotrice et un point neutre O.

Les nombres de spires de ces circuits primaires seront déterminés de telle manière que, si l'on désigne par e_1, e_2, e_3 les forces électromotrices développées dans toute spire entourant le noyau X, le noyau Y et le noyau Z, on puisse poser, en désignant par ε et β deux constantes,

$$e_1 = (\varepsilon \sin 2\pi\beta) \sin 2\pi\alpha t.$$
$$e_2 = \left[\varepsilon \sin 2\pi\left(\beta + \frac{1}{3}\right)\right] \sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{1}{3}\right),$$
$$e_3 = \left[\varepsilon \sin 2\pi\left(\beta + \frac{2}{3}\right)\right] \sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{2}{3}\right).$$

Dans ces conditions, la force électromotrice e développée dans la section considérée

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 26 août p. 292.

aura pour expression

$$e = \nu(e_1 + e_2 + e_3) = \nu\varepsilon\Big[\sin 2\pi\alpha t \sin 2\pi\beta + \sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{1}{3}\right)\sin 2\pi\left(\beta + \frac{1}{3}\right) + \sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{2}{3}\right)\sin 2\pi\left(\beta + \frac{2}{3}\right)\Big].$$

On a identiquement

$$\sin 2\pi\alpha t \sin 2\pi\beta = \frac{1}{2}[\cos 2\pi(\alpha t - \beta) - \cos 2\pi(\alpha t + \beta)],$$

$$\sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{1}{3}\right)\sin 2\pi\left(\beta + \frac{1}{3}\right) = \frac{1}{2}\Big[\cos 2\pi(\alpha t - \beta) - \cos 2\pi\left(\alpha t + \beta + \frac{2}{3}\right)\Big],$$

$$\sin 2\pi\left(\alpha t + \frac{2}{3}\right)\sin 2\pi\left(\beta + \frac{2}{3}\right) = \frac{1}{2}\Big[\cos 2\pi(\alpha t - \beta) - \cos 2\pi\left(\alpha t + \beta + \frac{4}{3}\right)\Big],$$

$$\cos 2\pi(\alpha t + \beta) + \cos 2\pi\left(\alpha t + \beta + \frac{2}{3}\right) + \cos 2\pi\left(\alpha t + \beta + \frac{4}{3}\right) = 0.$$

d'où

$$e = \frac{3}{2}\nu\varepsilon \cos 2\pi(\alpha t - \beta).$$

Si, en passant d'une section à l'autre, on

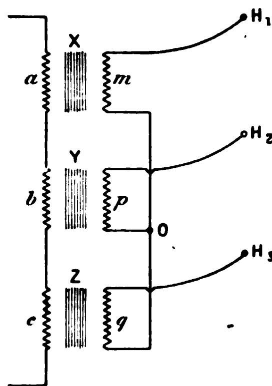


Fig. 54.

fait varier β successivement de quantités égales à $\frac{1}{2k}$, les $2k$ sections seront le siège de forces électromotrices de même grandeur efficace mais successivement décalées de $\frac{1}{2k}$ de période.

Nombre de spires N_1, N_2, N_3 *à attribuer aux divers circuits primaires agissant sur les bobines d'une section.* — Désignons par φ_1, φ_2, φ_3 les valeurs maxima des flux développés dans les noyaux X, Y, Z. Nous devrons avoir

$$N_1 = \frac{H}{\varepsilon \sin 2\pi\beta}, \quad N_2 = \frac{H}{\varepsilon \sin 2\pi\left(\beta + \frac{1}{3}\right)},$$

$$N_3 = \frac{H}{\varepsilon \sin 2\pi\left(\beta + \frac{2}{3}\right)}.$$

Si l'on avait $\beta = 0$, on devrait donner à la bobine primaire correspondante un nombre de spires infini; mais, comme la bobine secondaire qui l'accompagnerait devrait être le siège d'une force électromotrice nulle on supprimera simplement cette bobine primaire qui devait l'exciter.

Force électromotrice développée entre les balais du commutateur. — Les $2k$ sections seront groupées entre elles et reliées aux $2k$ touches d'un collecteur, comme s'il s'agissait des sections d'une armature de machine à courant continu.

Deux balais diamétralement opposés s'appuieront constamment sur ce collecteur, en tournant par rapport à lui avec la vitesse α.

Supposons qu'à l'époque t, le premier balai s'appuie sur la touche du collecteur, d'où part le point d'entrée de la section où la force électromotrice développée a pour expression

$$e = \frac{3}{2}\nu\varepsilon \cos 2\pi(\alpha t - \beta).$$

La force électromotrice E développée entre les deux balais sera égale à

$$E = \frac{3}{2}\nu\varepsilon\Big[\cos 2\pi(\alpha t - \beta) + \cos 2\pi\left(\alpha t - \beta - \frac{1}{2k}\right) + \dots + \cos 2\pi\left(\alpha t - \beta - \frac{k-1}{2k}\right)\Big].$$

Mais, par suite du mouvement des balais, la phase doit être considérée ici comme une fonction du temps.

Si le sectionnement du transformateur

était poussé à l'infini, le nombre β croîtrait proportionnellement au temps et augmenterait de 1 en un temps $\frac{1}{\alpha}$.

On pourrait poser alors, en désignant par C une constante ne dépendant que du calage des balais $\beta = \alpha t - C$,

$$E = \frac{3}{2} \nu \varepsilon \left[\cos 2\pi C + \ldots \cos 2\pi \left(C - \frac{k-1}{2k} \right) \right],$$

$$E = \frac{3}{2} \nu \varepsilon \frac{1}{\sin \frac{\pi}{12}} \cos 2\pi \left(C - \frac{1}{4k} \right).$$

Cette force électromotrice serait constante.

En réalité, le nombre β variera par à-coup de quantités égales à $\frac{1}{2k}$ et la force électromotrice E, au lieu d'être continue, repassera seulement par les mêmes valeurs au bout de temps égaux à $\frac{\pi}{2k\alpha}$, mais elle variera d'autant moins que le nombre k sera plus grand.

Cette force électromotrice sera semblable à celle que développent les machines à courant continu.

Si l'on ferme les balais sur un circuit extérieur, celui-ci sera parcouru par un courant continu d'intensité J.

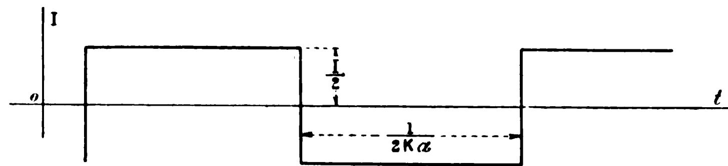


Fig. 55.

Les k sections aboutissant à des touches situées d'un même côté de la ligne des balais seront parcourues par un courant d'intensité $\frac{J}{2}$ et les k autres le seront par un courant d'intensité $-\frac{J}{2}$.

Loi suivant laquelle variera l'intensité du courant débité par chacune des sources de force électromotrice. — Le courant qui traverse les sections du circuit secondaire aura une intensité constante mais qui changera brusquement de sens deux fois par période, comme il est représenté sur la figure 55.

Les époques des changements de sens varieront successivement de quantités égales à $\frac{1}{2k\alpha}$, lorsqu'on passera d'une section à la suivante.

Si les circuits magnétiques des noyaux tels que ceux désignés plus haut par X, Y, Z ont une grande perméabilité, on peut supposer, sans erreur sensible, que le nombre d'ampères-tours développé par le circuit primaire soit, à chaque instant. égal et de signe contraire au nombre d'ampères-tours développé par le circuit secondaire.

Considérons les k circuits primaires branchés entre le point neutre et la source $H_1 = H \sin 2\pi\alpha t$ qui entourent les mêmes noyaux que les k sections situées d'un même côté de la ligne des balais. Soient : i_β, $i_{\beta+1}$, ..., $i_{\beta+(k-1)}$ les intensités des courants qui les traversent.

Leurs nombres de spires seront

$$N_1^\beta = \frac{H}{\varepsilon \sin 2\pi\beta}, \quad N_1^{\beta+1} = \frac{H}{\varepsilon \sin 2\pi\left(\beta + \frac{1}{2k}\right)},$$

$$\ldots, \quad N_1^{\beta+(k-1)} = \frac{H}{\varepsilon \sin 2\pi\left(\beta + \frac{k-1}{2k}\right)}.$$

On doit avoir

$$N_1^\beta i_{\beta+1} = N_1^{\beta+1} i_{\beta+1} = \ldots = N^{\beta+(k-1)} i_{\beta+(k-1)} = \frac{J}{2}.$$

d'où

$$i_\beta = \frac{J}{2} \frac{\nu\varepsilon}{H} \sin 2\pi\beta, \qquad i_{\beta+1} = \frac{J}{2} \frac{\nu\varepsilon}{H} \sin\left(\beta + \frac{1}{2k}\right),$$

$$\ldots, \quad i_{\beta+k-1} = \frac{J}{2} \frac{\nu\varepsilon}{H} \sin\left[\beta - \frac{(k-1)}{2k}\right].$$

La somme de ces courants sera

$$\frac{1}{2} I_1 = \frac{J}{2} \frac{\nu\varepsilon}{H} \left[\sin 2\pi\beta + \sin 2\pi\left(\beta + \frac{1}{2k}\right) + \cdots \right.$$
$$\left. + \sin 2\pi\left(\beta + \frac{k-1}{2k}\right) \right].$$

ou

$$\frac{1}{2} I_1 = -\frac{J}{2} \frac{v\varepsilon}{H} \frac{1}{\sin\frac{\pi}{2k}} \sin 2\pi\left(\beta - \frac{1}{4k}\right).$$

On trouverait que la somme des courants fournis aux k autres circuits primaires alimentés par la source de force électromotrice H_1 est égale à la précédente. Le débit total de cette source est donc, à l'époque t,

$$I_1 = -J \frac{v\varepsilon}{H} \frac{1}{\sin\frac{\pi}{2k}} \sin 2\pi\left(\beta - \frac{1}{4k}\right).$$

Mais, puisque les balais tournent, la quantité β est une fonction du temps. Si le sectionnement du circuit secondaire était poussé à l'infini, on aurait encore

$$\beta = \alpha t - C,$$

d'où

$$I_1 = -J \frac{v\varepsilon}{H} \frac{1}{\sin\frac{\pi}{2k}} \sin 2\pi\left(\alpha t - C - \frac{1}{4k}\right).$$

On aurait de même, en désignant par I_2 et I_3 les débits des sources des forces électromotrices H_2 et H_3,

$$I_2 = -J \frac{v\varepsilon}{H} \frac{1}{\sin\frac{\pi}{2k}} \sin 2\pi\left(\alpha t - C + \frac{1}{3} - \frac{1}{4k}\right),$$

$$I_3 = -J \frac{v\varepsilon}{H} \frac{1}{\sin\frac{\pi}{2k}} \sin 2\pi\left(\alpha t - C + \frac{2}{3} - \frac{1}{4k}\right).$$

Donc, si le sectionnement du circuit secondaire était poussé à l'infini, les trois sources de forces électromotrices débiteraient des courants dont l'intensité varierait suivant une loi sinusoïdale.

En réalité, la loi de variation de ces courants devra être représentée, comme lorsqu'on se servait de la première méthode, par une ligne brisée se développant autour d'une sinusoïde et tendant à se confondre d'autant plus avec elle que le sectionnement du circuit secondaire du transformateur est poussé plus loin.

Comparaison de ce système avec le précédent. — Les deux systèmes que nous venons de décrire jouissent de cette propriété, que les circuits secondaires de leurs transformateurs peuvent débiter des courants continus, alors que le réseau qui alimente leurs circuits primaires n'a à fournir que des courants de forme sinusoïdale.

Dans les appareils du premier système, la carcasse magnétique des transformateurs et leurs circuits primaires sont identiques à ceux des transformateurs ordinaires à courants polyphasés. Toutes les difficultés de construction sont reportées sur les circuits secondaires.

Comme on le verra plus loin, il faut que les fuites magnétiques des transformateurs soient aussi réduites que possible. Pour cela il est nécessaire que les diverses bobines, de nombres de spires différents enroulées sur un même noyau, soient de même longueur et superposées. Cela est facile tant que leur nombre n'est pas très considérable, c'est-à-dire tant que le sectionnement du circuit secondaire du transformateur n'est pas poussé trop loin.

Dans le deuxième système, au contraire, la réalisation du circuit secondaire n'offrira aucune difficulté, quel que soit son sectionnement. Mais, lorsqu'on aura affaire à des appareils de médiocre puissance, les circuits primaires des plus petits transformateurs élémentaires qui entreront dans leur constitution devront comporter un très grand nombre de spires de fil très fin. Cet inconvénient disparaîtra de lui-même dès que la puissance de l'appareil augmentera.

Il en résulte que le premier système s'appliquera surtout à la réalisation d'appareils de puissance modérée (nous en avons fait de 100 kilowatts qui sont de construction très simple et fonctionnent bien) et le second aux appareils de grande puissance.

On pourrait d'ailleurs concevoir une infinité de systèmes mixtes intermédiaires entre les deux précédents. Nous aurons tout à l'heure l'occasion d'en décrire un, qui nous paraît donner la meilleure solution pratique.

V. — De la commutation dans les transformateurs-redresseurs a courants polyphasés.

Nous allons étudier les phénomènes dont est le siège toute section mise en court-circuit par les balais.

I. Appareils du premier système. — a. *Coefficient de self-induction d'une section du circuit secondaire.* — Considérons une section quelconque du circuit secondaire.

Elle comportera $\nu \sin x$ spires autour du noyau $x_1 y_1$ (fig. 52), $\nu \sin\left(x + \frac{2\pi}{3}\right)$ spires autour du noyau $X_2 Y_2$, et $\nu \sin\left(x + \frac{4\pi}{3}\right)$ spires autour du noyau $X_3 Y_3$.

Appelons p un coefficient de perméabilité qui sera le même pour toutes les sections des bobines secondaires. Le coefficient de self-induction l_1 de la section considérée sera égal à

$$l_1 = 4\pi p \nu^2 \left[\sin^2 x + \sin^2\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + \sin^2\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) \right]$$

ou, en posant

$$l = 4\pi p \nu^2, \qquad l_1 = \frac{3}{2} l.$$

Le coefficient de self-induction est donc constant, quel que soit le rang de la bobine.

b. *Coefficient d'induction mutuelle d'une section mise en court-circuit avec l'ensemble des sections demeurées en circuit.* — Lorsque la section considérée tout à l'heure sera mise en court-circuit par un balai, les nombres de spires des sections demeurées en circuit seront :

1° Autour du noyau $X_1 Y_1$,

$$\nu \left\{ \sin\left(x + \frac{\pi}{k}\right) + \sin\left(x + \frac{2\pi}{k}\right) + \dots + \sin\left[x + (k-1)\frac{\pi}{k}\right] \right\} = \frac{\nu}{\operatorname{tang} \frac{2k}{\pi}} \cos x ;$$

2° Autour du noyau $X_2 Y_2$,

$$\nu \left\{ \sin\left(x + \frac{2\pi}{3} + \frac{\pi}{k}\right) + \sin\left(x + \frac{2\pi}{3} + \frac{2\pi}{k}\right) + \dots + \sin\left[x + \frac{2\pi}{3} + (k-1)\frac{\pi}{k}\right] \right\} = \frac{\nu}{\operatorname{tang} \frac{\pi}{2k}} \cos\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) ;$$

3° Autour du noyau $X_3 Y_3$,

$$\nu \left\{ \sin\left(x + \frac{4\pi}{3} + \frac{\pi}{k}\right) + \sin\left(x + \frac{4\pi}{3} + \frac{2\pi}{k}\right) + \dots + \sin\left[x + \frac{4\pi}{3} + (k-1)\frac{\pi}{k}\right] \right\} = \frac{\nu}{\operatorname{tang} \frac{\pi}{2k}} \cos\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) .$$

Le coefficient d'induction mutuelle de la section mise en court-circuit avec les sections considérées sera donc

$$\frac{4\pi p \nu^2}{\operatorname{tang} \frac{2}{2k}} \left[\sin x \cos x + \sin\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) \cos\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) \cos\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) \right] = 0.$$

Il sera constamment nul.

c. *Coefficient d'induction mutuelle d'une section avec les circuits primaires.* — Les circuits primaires ayant chacun N spires, les coefficients d'induction mutuelle m_1^x, m_2^x, m_3^x de la section considérée avec les trois circuits primaires auront pour expression

$$m_1{}^x = 4\pi p \nu N \sin x,$$

$$m_2{}^x = 4\pi p \nu N \sin\left(x + \frac{2\pi}{3}\right),$$

$$m_3{}^x = 4\pi p \nu N \sin\left(x + \frac{4\pi}{3}\right).$$

d. *Intensité du courant dans les sections mises en court-circuit.* — Nous désignerons par L le coefficient de self-induction de chacun des circuits primaires ; par A celui de chacune des branches du réseau qui alimente le transformateur, et par r la résistance d'une section.

Nous appellerons

$$H_1 = H \sin 2\pi (\alpha t - \psi),$$

$$H_2 = H \sin 2\pi \left(\alpha t - \psi + \frac{1}{2}\right),$$

$$H_3 = H \sin 2\pi \left(\alpha t - \psi + \frac{2}{3}\right),$$

les trois forces électromotrices développées aux bornes des trois circuits primaires :

j l'intensité du courant dans la section mise en court-circuit ;

i_1, i_2, i_3 les intensités des trois courants primaires.

Nous supposerons négligeables les résistances de ces circuits, y compris celles des branches du réseau qui les alimente.

Mais nous ne pourrions, sans erreur sensible, négliger de même la résistance de la section mise en court-circuit qui doit comprendre non seulement la résistance des câbles de connexion qui partent de ses deux extrémités pour aller au collecteur, mais aussi la résistance de contact des balais.

Nous aurons donc les relations suivantes :

$$0 = rj + l_1 \frac{dj}{dt} + m_1 x \frac{di_1}{dt} + m_2 x \frac{di_2}{dt} + m_3 x \frac{di_3}{dt},$$

$$0 = (L + \Lambda) \frac{di_1}{dt} + m_1 x \frac{dj}{dt} + H_1,$$

$$0 = (L + \Lambda) \frac{di_2}{dt} + m_2 x \frac{dj}{dt} + H_2,$$

$$0 = (L + \Lambda) \frac{di_3}{dt} + m_3 x \frac{dj}{dt} + H;$$

d'où nous tirons

$$0 = rj + l_1 \frac{dj}{dt} - \frac{1}{L + \Lambda} [(m_1 x)^2 + (m_2 x)^2 + (m_3 x)^2] \frac{di}{dt} - \frac{1}{L + \Lambda} (m_1 x H_1 + m_2 x H_2 m_3 x H_3).$$

On a

$$[(m_1 x)^2 + (m_2 x)^2 + (m_3 x)^2] = \frac{3}{2} (4\pi p\nu N)^2 = \frac{3}{2} m^2,$$

$$m_1 x H_1 + m_2 x H_2 + m_3 x H_3$$
$$= 4\pi p\nu H \left[\sin x \sin 2\pi (\alpha t - \psi) + \sin\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) \sin 2\pi \left(\alpha t - \psi + \frac{1}{3}\right) + \sin\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) \sin 2\pi \left(\alpha t - \psi + \frac{2}{3}\right) \right]$$
$$= \frac{3}{2} 4\pi p\nu H \cos 2\pi \left(\alpha t - \psi - \frac{x}{2\pi}\right).$$

Par suite du mouvement des balais par rapport au collecteur, la quantité x variera brusquement de $\frac{\pi}{k}$ à la fin de chaque mise en court-circuit, soit au bout de temps égaux à $\frac{1}{2k\alpha}$. Pendant l'intervalle qui sépare les commencements de deux mises en court-circuit, la quantité $2\pi\alpha t$ se sera accrue de la même quantité. Il en résulte que la différence $\left(\alpha t - \psi - \frac{x}{2\pi}\right)$ aura toujours la même valeur au début de chaque mise en court-circuit.

Donc, en désignant par f une nouvelle différence de phases qui ne dépendra que du calage des balais et en prenant toujours pour origine des temps le commencement de la mise en court-circuit considérée, on aura la relation

$$0 = rj + \frac{2}{3} \left(l - \frac{m^2}{L + \Lambda}\right) \frac{dj}{dt} + \frac{3}{2} m \frac{H}{L + \Lambda} \sin 2\pi (\alpha t - f).$$

Si les noyaux des transformateurs ont une très grande perméabilité, on pourra négliger le coefficient Λ devant le coefficent L. L'équation précédente deviendra

$$0 = rj + \frac{3}{2} \left[\left(l - \frac{m^2}{L}\right) + \Lambda \frac{l}{L} \right] \frac{dj}{dt} + \frac{3m}{2L} H \sin 2\pi (\alpha t - f).$$

Posons $\lambda = l - \frac{m^2}{L}$. Le terme λ représentera le coefficient de self-induction dû aux fuites magnétiques de chaque section du circuit secondaire, c'est-à-dire aux flux engendrés par les bobines de cette section qui ne coupent pas la totalité des spires des circuits primaires montés sur les mêmes noyaux.

Pour nous rendre compte de la signification physique des termes $\Lambda \frac{l}{L}$ et $\frac{m}{L}$, nous définirons de la manière suivante le rapport de transformation Z du transformateur.

Supposons que l'on ait redressé la force électromotrice

$$H_1 = H \sin 2\pi\alpha t,$$

comme il est représenté sur la figure 56.

***

Nous aurons une force électromotrice toujours de même sens dont la valeur moyenne h_0 sera égale à

$$h_0 = 2\alpha H \int_0^{\frac{1}{2\alpha}} \sin 2\pi\alpha t dt \frac{H}{\pi}.$$

Appelons E la force électromotrice conti-

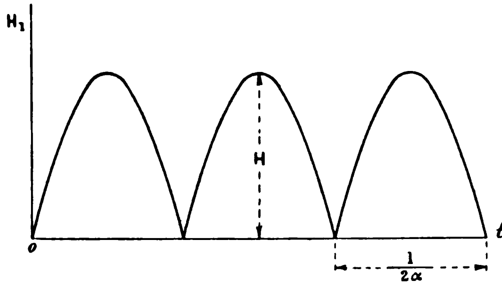


Fig. 56.

nue développée entre les balais ; nous appellerons *rapport de transformation* le rapport

$$Z = \frac{E}{\frac{3}{2} h_0} = \frac{2}{3} \frac{\pi E}{H}.$$

Or si l'on désigne par ε la force électromotrice maximum développée dans chaque spire entourant l'un des noyaux du transformateur, l'on a

$$H = N\varepsilon,$$

$$E = \frac{3}{2} \frac{\nu\varepsilon}{\sin \frac{\pi}{2k}},$$

d'où

$$Z = \frac{2}{3} \frac{\pi E}{H} = \frac{\pi\nu}{N \sin \frac{\pi}{2k}}.$$

L'angle $\frac{\pi}{2k}$ étant toujours petit, on peut, sans erreur sensible, remplacer la valeur du sinus par celle de l'arc. Il vient

$$\frac{\nu}{N} = \frac{Z}{2k}.$$

On a très approximativement

$$\frac{l}{L} = \frac{\nu^2}{N^2}, \quad \frac{m}{L} = \frac{\nu}{N},$$

d'où

$$\frac{l}{L} = \frac{Z^2}{4k^2}, \quad \frac{m}{L} = \frac{Z}{2k}$$

L'équation qui donne l'intensité j, développée dans les spires en court-circuit devient alors

$$o = rj + \frac{3}{2}\left[\lambda + (Z)^2 \frac{\Lambda}{4k^2}\right] + \frac{3}{2}(Z) \frac{H}{2k} \sin 2\pi(\alpha t - f)$$

d'où la conclusion suivante :

Au coefficient de transformation près, lorsque le circuit secondaire d'un transformateur-redresseur est divisé en $2k$ sections :

1° S'il n'y avait pas de fuites magnétiques dans le transformateur, les phénomènes de commutation, dans un transformateur-redresseur, seraient les mêmes que ceux qui se produiraient à égalité de travail électrique fourni, dans la machine obtenue en transformant en dynamo à courant continu le ou les alternateurs à courants polyphasés qui alimentent le transformateur-redresseur et en divisant pour cela leurs armatures en $2k$ sections identiques.

2° En réalité, ce coefficient de self-induction de chacune des sections de la machine ainsi obtenue devra être augmentée d'un coefficient supplémentaire représentant les fuites magnétiques de chaque section dans le transformateur.

II. Appareils du second système. — Soit $\frac{3}{2}\lambda$ le coefficient de self-induction dû aux fuites magnétiques de chacune des sections du circuit secondaire.

Nous supposerons que la perméabilité de tous les circuits magnétiques soit assez grande pour que l'on puisse considérer à chaque instant, comme égaux et de signes contraires, les nombres d'ampères-tours développés dans les circuits primaires et secondaires entourant chacun des noyaux.

Considérons une section dont les trois bobines secondaires de ν spires sont enroulées sur les noyaux dont les circuits primaires ont les nombres de spires suivants :

$$N_1 = \frac{H}{\varepsilon \sin 2\pi\beta}, \quad N_2 = \frac{H}{\varepsilon \sin 2\pi\left(\beta + \frac{1}{3}\right)},$$

$$N_3 = \frac{H}{\varepsilon \sin 2\pi\left(\beta + \frac{2}{3}\right)}$$

Nous savons qu'elle est le siège d'une force électromotrice

$$\frac{3}{2}\nu\varepsilon \cos 2\pi(\alpha t - \beta).$$

Nous appellerons Λ le coefficient de self-induction de chacune des branches du réseau qui alimente l'appareil.

Lorsque l'intensité, dans la section mise en court-circuit, variera de dj, les nombres d'ampères-tours développés par ces trois bobines varieront chacun de $\nu\, dj$.

Les courants développés dans les trois circuits primaires de la section considérée subiront des variations d'intensité di_1, di_2, di_3 telles que l'on ait

$$N_1 di_1 = N_2 di_2 = N_3 di_3 = \nu dj,$$

d'où

$$di_1 = -dj\frac{\nu\varepsilon}{H}\sin 2\pi\beta,$$

$$di_2 = -dj\frac{\nu\varepsilon}{H}\sin 2\pi\left(\beta+\frac{1}{3}\right),$$

$$di_3 = -dj\frac{\nu\varepsilon}{H}\sin 2\pi\left(\beta+\frac{2}{3}\right).$$

Nous allons voir que ces courants ne pourront traverser les autres circuits primaires montés en dérivation avec ceux de la section considérée à cause de leur self-induction, et se fermeront à travers les branches du réseau.

Supposons le problème résolu.

Les forces électromotrices développées aux bornes de ces circuits primaires, par les variations d'intensité di_1, di_2, di_3 seront respectivement égales à

$$\Lambda\frac{di_1}{dt},\qquad \Lambda\frac{di_2}{dt},\qquad \Lambda\frac{di_3}{dt}$$

ou à

$$-\frac{dj}{dt}\frac{\nu\varepsilon}{H}\Lambda\sin 2\pi\beta,\quad -\frac{dj}{dt}\frac{\nu\varepsilon}{H}\Lambda\sin 2\pi\left(\beta+\frac{1}{3}\right),$$
$$-\frac{dj}{dt}\frac{\nu\varepsilon}{H}\Lambda\sin 2\pi\left(\beta+\frac{2}{3}\right).$$

Les dérivées des variations des flux développées dans les noyaux des sections en circuit seront proportionnelles à ces forces électromotrices et inversement proportionnelles aux nombres de spires des circuits primaires.

Donc la somme des forces électromotrices développées dans les diverses sections secondaires demeurées en circuit sera égale à :

1° *Bobines enroulées sur des noyaux dont les circuits primaires sont alimentés par la première branche du réseau.*

$$\frac{dj}{dt}\left(\frac{\nu\varepsilon}{H}\right)^2\Lambda\sin 2\pi\beta\left[\sin 2\pi\left(\beta+\frac{1}{2k}\right)+\dots\right.$$
$$\left.+\sin 2\pi\left(\beta+\frac{k-1}{2k}\right)\right].$$

2° *Bobines enroulées sur des noyaux dont les circuits primaires sont alimentés par la deuxième branche du réseau.*

$$\frac{dj}{dt}\left(\frac{\nu\varepsilon}{H}\right)^2\Lambda\sin 2\pi\left(\beta+\frac{1}{3}\right)\left[\sin 2\pi\left(\beta+\frac{2}{3}+\frac{1}{2k}\right)\right.$$
$$\left.+\dots+\sin 2\pi\left(\beta+\frac{1}{3}+\frac{k-1}{2k}\right)\right].$$

3° *Bobines enroulées sur des noyaux dont les circuits primaires sont alimentés par la troisième branche du réseau.*

$$\frac{dj}{dt}\left(\frac{\nu\varepsilon}{H}\right)^2\Lambda\sin 2\pi\left(\beta+\frac{2}{3}\right)\left[\sin 2\pi\left(\beta+\frac{2}{3}+\frac{1}{2k}\right)\right.$$
$$\left.+\dots+\sin 2\pi\left(\beta+\frac{2}{3}+\frac{k-1}{2k}\right)\right].$$

La somme de ces trois expressions est égale à

$$\frac{dj}{dt}\left(\frac{\nu\varepsilon}{H}\right)^2\frac{\Lambda}{\operatorname{tang}\frac{\pi}{2k}}\left[\sin 2\pi\beta\cos 2\pi\beta\right.$$
$$+\sin 2\pi\left(\beta+\frac{1}{3}\right)\cos 2\pi\left(\beta+\frac{1}{3}\right)$$
$$\left.+\sin 2\pi\left(\beta+\frac{2}{3}\right)\cos 2\pi\left(\beta+\frac{2}{3}\right)\right].$$

Elle est identiquement nulle.

Il en résulte qu'aucune force électromotrice ne sera développée dans les sections du circuit secondaire, demeurées en circuit. Elles ne pouront donc être le siège d'aucun courant susceptible de démagnétiser leurs noyaux

et leurs circuits primaires conserveront toute leur self-induction, qui s'opposera d'une manière presque absolue au passage des courants di_1, di_2, di_3.

Comme nous savons que les problèmes de ce genre ne comportent qu'une solution, il nous suffit d'avoir vérifié celle que nous avons d'abord supposée exacte.

Les forces électromotrices développées dans les trois bobines de la section mise en court-circuit sont respectivement égales à

$$\frac{dj}{dt}\left(\frac{\nu\varepsilon}{H}\right)^2 \Lambda \sin^2 2\pi\beta, \quad \frac{dj}{dt}\left(\frac{\nu\varepsilon}{H}\right)^2 \Lambda \sin^2 2\pi\left(\beta+\frac{1}{3}\right), \quad \frac{dj}{dt}\left(\frac{\nu\varepsilon}{H}\right)^2 \Lambda \sin^2 2\pi\left(\beta+\frac{2}{3}\right).$$

Leur somme est égale à

$$\frac{3}{2}\frac{dj}{dt}\left(\frac{\nu\varepsilon}{H}\right)^2 \Lambda.$$

La force électromotrice E développée entre les balais est égale à $E=\frac{3}{2}\frac{\nu\varepsilon}{\sin\frac{\pi}{2k}}$.

Appelons, comme dans le cas précédent, *rapport de transformation de l'appareil*, le rapport

$$Z=\frac{E}{\frac{3}{2}\frac{H}{\pi}}=\frac{\pi}{\sin\frac{\pi}{2k}}\frac{\nu\varepsilon}{H},$$

ou, en remplaçant la valeur du sinus par celle de l'arc,

$$Z=2k\frac{\nu\varepsilon}{H}, \quad \text{d'où} \quad \frac{\nu\varepsilon}{H}=\frac{Z}{2k}.$$

Dans ces conditions, si nous désignons toujours par r la résistance d'une section, l'équation qui nous fera connaitre les variations de l'intensité dans la section mise en court-circuit est

$$0=rj+\frac{3}{2}\left[\lambda+(Z)^2\frac{\Lambda}{4k^2}\right]\frac{dj}{dt}+\frac{3}{2}(Z)\frac{H}{2k}\sin 2\pi(\alpha t-f).$$

Cette équation est identique à celle que nous avons trouvée dans le premier cas. Donc la commutation s'opérera de la même manière, quel que soit le système de transformateur-redresseur employé.

Désormais, tout ce que nous allons dire sur ce sujet s'appliquera aux appareils de l'un et de l'autre système.

On devra toujours s'efforcer de réaliser des transformateurs ayant aussi peu de fuites que possible. Cela sera généralement plus facile avec de petits qu'avec de grands appareils; c'est pourquoi il y aura avantage à employer le second système ou un système mixte, lorsqu'il s'agira de réaliser des appareils de grande puissance.

On arrivera ainsi à rendre négligeable l'influence des fuites du transformateur sur les phénomènes de commutation.

Mais il pourra arriver que la self-induction de l'armature de la génératrice soit trop grande, étant donné le nombre de sections du circuit secondaire du transformateur-redresseur, pour que la commutation se fasse bien. Il y aura intérêt alors à couper par des entrefers les circuits magnétiques des transformateurs. On ne pourra plus négliger le terme Λ devant le terme L et le coefficient de self-induction apparent de la section mise en court-circuit devra être remis sous la forme $\frac{3}{2}\left(l-\frac{m^2}{L+\Lambda}\right)$ que l'on peut écrire :

$$\frac{3}{2}\left(\frac{l=\frac{m^2}{L}}{1+\frac{\Lambda}{L}}+l\frac{\Lambda}{L+\Lambda}\right).$$

Le terme $l-\frac{m^2}{L}$ représente le coefficient de self-induction dû à l'existence de fuites magnétiques, c'est-à-dire de flux qui font toujours un chemin considérable dans l'air; il sera peu affecté par l'introduction d'entrefers dans les circuits magnétiques du transformateur. Le terme Λ demeurera constant, le terme L sera fortement diminué. Donc, l'expression $\frac{l-\frac{m^2}{L}}{1+\frac{\Lambda}{L}}$ sera diminuée. Quant au terme $l\frac{\Lambda}{L+\Lambda}$, qui représente l'influence de la self-induction des circuits de la génératrice

sur les phénomènes de commutation, il diminue aussi avec la perméabilité des circuits magnétiques du transformateur et tend vers o avec elle.

Cette diminution du terme $l\frac{\Lambda}{L+\Lambda}$ aurait pu être aussi bien obtenue en diminuant le coefficient Λ, ce à quoi on arriverait en augmentant l'entrefer de la génératrice, procédé auquel on a d'ordinaire recours dans les machines à courant continu. lorsque leur commutation ne se fait pas bien.

Il revient donc au même de couper par un entrefer les circuits magnétiques ou d'augmenter celui de la génératrice. Les conséquences qui en résulteront pour le fonctionnement de cette dernière seront aussi les mêmes. En effet, elle devra fournir davantage de courants déwattés pour l'excitation du transformateur, et cela obligera à augmenter sa propre excitation, comme si l'on avait augmenté son propre entrefer.

(*A suivre.*)

Maurice Leblanc.

CONGRÈS ÉLECTROTECHNIQUE DE VIENNE (1)

SUR UN SYSTÈME DE TRACTION ÉLECTRIQUE A COURANTS ALTERNATIF ET CONTINU COMBINÉS ET EN PARTICULIER LE SYSTÈME DÉRI

Par M. l'ingénieur F. Eichberg.

L'auteur rappelle la communication qu'il a faite devant la Société des Électriciens de Vienne, le 19 janvier 1898, « sur les trains complets électriques pour le trafic sur de fai-

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 29 juillet, t. XX, p. 121. Outre les communications techniques que nous analyserons dans cet article, plusieurs rapports ont été lus au Congrès électrotechnique de Vienne; nous croyons utile de résumer brièvement ces rapports et les décisions auxquels ils ont donné lieu.

Sur le projet de monopolisation des chutes d'eau. Rapporteur M. le Dr Beurle. — Le Congrès n'est pas partisan de la création d'un monopole d'État sur les forces hydrauliques, il donne comme moyens propres à une meilleure utilisation des chutes d'eau :

a. Une réforme convenable des lois sur les eaux ;

b. Une distribution judicieuse des concessions pour les installations de forces hydrauliques et de subventions, semblables à celles qu'on accorde pour la construction des lignes de chemins de fer.

Règlement du droit de concession pour l'industrie électrique. Rapporteur M. le Dr Horten. — 1. Les installations électriques sont, au point de vue des réparations et de la surveillance, de même que pour les capacités exigées du personnel chargé de les conduire, divisées en petites et grandes installations.

2. Autorisations pour établir des installations électriques suivant les différents cas.

3. L'autorisation nécessaire pour une installation suit les soumissions et l'étude du projet par des hommes compétents.

4. Les personnes qui dirigent le montage ou surveillent une installation électrique doivent prouver les capacités suivantes :

a. Pour une grande installation : un certificat montrant qu'ils ont terminé avec succès leurs études dans une école technique supérieure et un autre constatant qu'ils ont fait au moins trois ans de pratique comme monteurs électriciens.

b. Pour les petites installations : la preuve d'avoir appris la mécanique pratique et subir avec succès un examen spécial.

Le Congrès demande qu'en Autriche un comité ait à suivre le développement progressif de l'électrotechnique.

Le Congrès n'accepte pas le projet présenté, mais vu son importance le renvoie devant une commission spéciale.

Création d'un bureau d'inspection pour la surveillance des installations électriques. Rapporteur M. E. Kolben. — Après l'adoption par le Congrès des prescriptions de sécurité relatives aux grandes installations, il est de toute nécessité de créer un bureau chargé de veiller à la réalisation de ces prescriptions.

Pour l'organisation de ce bureau trois solutions se présentent :

α. Bureau d'inspection de l'État;

β. Bureau d'inspection de l'industrie privée;

γ. Combinaison des deux premières.

D'après M. Kolben cette dernière solution est préférable, tant au point de vue du développement de l'industrie électrique qu'à celui de la rapidité de fondation du bureau.

Il demande la création d'une association des ingénieurs

bles distances » ; communication dans laquelle il cherche à démontrer l'avantage de la traction électrique sur la traction à vapeur, tant au point de vue de l'économie qu'à celui de la perfection technique.

électriciens autrichiens, dont les membres se recruteraient, non seulement dans l'industrie électrotechnique, mais également dans tous les corps de métiers ayant quelques rapports avec elle.

Il cite les associations semblables créées en Allemagne et particulièrement en Suisse, où le bureau d'Inspection, dans la période d'avril 1898 à avril 1899, a donné d'excellents résultats.

Le Congrès élit un comité de 12 membres chargé d'examiner et de rédiger les articles présentés par M. Kolben.

Sur la loi sur les grandes installations à présenter devant le Conseil de l'Empire. Rapporteur M. le Conseiller d'Empire J. Karlis. — M. Karlis examine les différentes lois en usage dans les autres pays, il termine en demandant l'addition de prescriptions relatives au passage des lignes, aériennes ou souterraines dans les lieux publics ou privés et le montant des indemnités que les propriétaires sont autorisés à demander.

Sur l'exemption d'impôts pour la benzine employée pour les moteurs dans les installations électriques. Rapporteur M. l'ingénieur L. Loos. — M. l'ingénieur Loos, après quelques considérations sur l'emploi des moteurs à benzine et la nécessité qu'il y a de supprimer l'impôt, compare la consommation des huiles minérales en Allemagne et en Autriche-Hongrie.

En 1898 la consommation s'est élevée à :

18-20 kg par habitant en Allemagne;

Et seulement 5 kg par habitant en Autriche.

Il demande que la Société des Electriciens de Vienne adresse une pétition au gouvernement pour la modification de la loi du 29 juillet 1896, dans le sens de l'exemption d'impôts sur la benzine, employée comme combustible dans les moteurs, sans spécification de la transformation d'énergie.

Création d'une statistique des installations électriques. Rapporteur M. le Dr Hiecke. — La résolution suivante a été adoptée :

Le Congrès Electrotechnique de Vienne prie la Société des Electriciens de Vienne d'envoyer au gouvernement l'adresse qui suit :

Que l'on prenne en considération la création d'une statistique des installations électriques et des accidents qui s'y produisent.

L'utilité du choix d'une échelle de graduation précise pour les compteurs d'électricité Rapporteur M. le Dr Sahulka. — M. le Dr Sahulka insiste sur la nécessité qu'il y a, vu la grande quantité de compteurs, de réduire le nombre des graduations et de prendre, comme dans le système métrique les compteurs suivants :

De 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 et 1 000 A.

M. le directeur Kremenetzky propose que les compteurs déclarés pour d'autres intensités que celles adoptées soient surtaxés.

M. l'ingénieur de Blathy déclare qu'il serait préférable de prendre l'échelle de gradation suivante :

1, 3, 5, 10, 30, 50, 75, 100 A

Echelle qui est finalement adoptée par le Congrès. P D.

A ce dernier point de vue, l'avantage de la traction électrique s'exprime par deux rapports, le premier donne en p. 100 le rapport entre le poids du moteur et le poids du train complet sans moteur; le second le rapport en p. 100 entre le poids d'adhérence et le poids total.

Tandis que pour la traction par locomotives à vapeur le premier rapport est 25 à 30 p. 100, le second 15 à 25 p. 100; pour la traction électrique quand deux des essieux d'une voiture sur quatre sont munis de moteurs le premier rapport est 15 p. 100, le second atteint 60 à 65 p. 100.

Comme le poids d'adhérence indique le couple maximum possible et le poids total le couple maximum nécessaire, il s'ensuit que le service électrique remplit mieux les conditions de mise en marche rapide et de plus grande vitesse moyenne pour de faibles éloignements de stations. De plus, la possibilité d'équiper chaque voiture avec des moteurs et d'attacher à la suite d'un train des unités motrices donne à la traction électrique une élasticité extraordinaire, très utile dans certains cas.

Sous le rapport de l'économie, la centralisation de la production de l'énergie, sa distribution avec un haut rendement et la possibilité que l'on a d'égaliser l'énergie nécessaire par des batteries d'accumulateurs, sont des facteurs prépondérants pour l'exploitation électrique.

Dans le cas de trains lourds et de faibles éloignements de stations il faut considérer l'avantage que l'on pourrait avoir à récupérer une partie de l'énergie dépensée aux démarrages. Cette récupération, impossible avec la traction à vapeur, n'est possible que pour certains systèmes avec la traction électrique.

Un freinage utile ne peut être obtenu, dans le cas de moteurs à induction, que par changement des moteurs en l'état asynchrone,

pour les moteurs à courant continu par élévation de l'excitation. Le freinage est surtout avantageux lorsque le moteur est un moteur en dérivation et que la tension d'alimentation du moteur est variable, c'est-à-dire que la voiture porte une batterie d'accumulateurs.

On peut pousser plus loin cette étude. Dans la figure 1 la ligne en traits forts représente

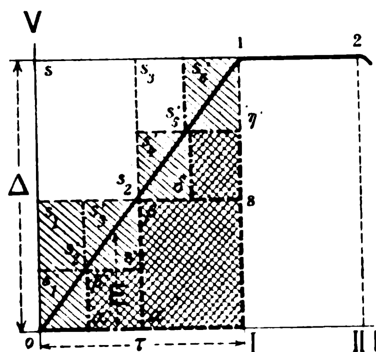


Fig. 1.

la courbe de la vitesse en fonction du temps. La ligne ascendante de la vitesse nulle à la vitesse maxima pendant la période de mise en marche correspond à une accélération constante, par suite à un couple constant et avec une excitation constante à un courant constant.

La ligne de vitesse $o1$ représente également la force contre-électromotrice croissante du moteur et la vitesse maxima I1 la tension donnée Δ moins la chute ohmique. La surface $os1$I est, par suite, proportionnelle au travail effectué sous cette tension et la surface $o1$I proportionnelle à l'énergie emmagasinée dans la voiture.

Le rapport de ces deux surfaces représente le rendement de la mise en marche dans le cas d'une tension de distribution et d'une accélération constantes; il est égal à 50 p. 100 si l'on néglige les pertes du moteur et le travail nécessaire pour la marche normale.

Si nous prenions deux degrés de tension l'énergie dépensée serait représentée par la surface $os_1 s_2 s_3 1$I et le rendement maximum du démarrage serait 66.6 p. 100. Pour quatre degrés de tension l'énergie serait représentée par la surface $os'_1\, s'_2\, s'_3\, s_2\, s'_4\, s'_5\, s'_6\; 1$I et le rendement maximum possible serait 80 p. 100.

Quant à la récupération aux arrêts, on ne peut l'obtenir, lorsque la tension extérieure est constante, qu'en changeant l'excitation (fig. 2).

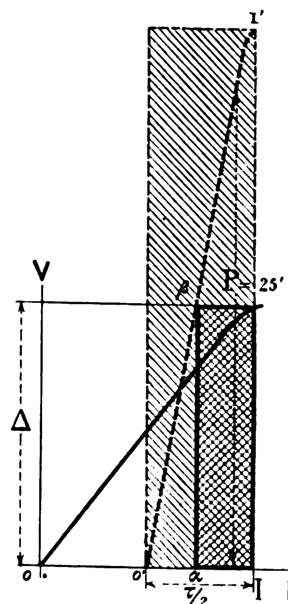


Fig. 2.

Pour un courant constant donné, si l'on double l'excitation, le couple et l'accélération doublent également. La surface représentative de l'énergie $o1$I se change en $o1'$I; le temps de freinage est égal à la moitié du temps de démarrage, toujours en négligeant les pertes du moteur et l'énergie nécessaire à la traction. Le freinage peut être continué aussi longtemps que la force contre-électromotrice du moteur est plus grande que la tension de distribution. L'énergie récupérée par freinage est représentée par la surface $\alpha\beta 1$I, le rendement maximum possible du freinage est de 50 p. 100.

Si donc on n'a qu'une tension à sa disposition et si l'on freine en doublant l'excitation. il est possible de récupérer 25 p. 100 = 50 p. 100 $\times$ 50 p. 100 de l'énergie dépensée à la mise en marche. Si l'on a deux ou quatre degrés de tension à sa disposition, on peut (voy.

fig. 1) récupérer l'énergie équivalente à la surface $\alpha \beta \gamma$ I c'est-à-dire 50 p. 100 dans le premier cas, et dans le second l'énergie équivalente à la surface $\alpha' \beta' \gamma' \beta \delta' \varepsilon' \mu'$ I c'est-à-dire 75 p. 100. Ce qui donne un rendement théorique pour le démarrage et l'arrêt réunis de 66 p. 100 $\times$ 50 p. 100 = 33 p. 100 pour deux degrés de tension, 80 p. 100 $\times$ 75 p. 100 = 60 p. 100 pour quatre degrés de tension.

En ce qui concerne le freinage au moyen des moteurs à induction et des rendements obtenus l'auteur renvoie au travail paru dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XIX, p. 784, 24 novembre 1898 (1).

De tels freinages produisent non seulement une économie d'énergie mais aussi une action d'égalisation qui peut n'être que momentanée avec des courants alternatifs, mais qui peut être durable avec des courants continus.

Dans toutes les combinaisons que l'on peut réaliser pour obtenir une utilisation constante de l'énergie, on emploie des accumulateurs qui sont par conséquent d'une grande importance pour la perfection de la traction. D'autre part les moteurs à courant continu possèdent bien des avantages : courant de démarrage, capacité de surcharge, manque de différence de phases, etc.

Lorsque l'on considère un service de traction beaucoup plus important, il faut, pour l'avantage de la traction électrique, réaliser la distribution économique de l'énergie, distribution qui n'est possible que par le système de courants alternatifs à haute tension.

La réunion des principes de la distribution par courants alternatifs et de la traction par courants continus a pris une très grande importance. L'auteur, après un court aperçu des systèmes connus jusqu'ici, développe le système combiné alternatif-continu.

Ces systèmes se ramènent à 3 groupes :

1° Système dans lequel les voitures sont uniquement alimentées avec du courant continu.

2° Système dans lequel les voitures sont uniquement alimentées avec du courant alternatif.

3° Système dans lequel les voitures sont alimentées à la fois avec du courant alternatif et du courant continu.

Dans le premier groupe appartient tout système où le courant alternatif mono ou polyphasé de la station centrale est transformé en courant continu par une série de transformateurs tournants. Dans le deuxième groupe appartient le système avec redresseurs de courant et le système Déri avec de praticables batteries-tampon. Dans le troisième groupe enfin, appartient le système non encore décrit Déri, qui distribue l'énergie à la fois sous forme de courants alternatifs et sous forme de courants continus, et dont le perfectionnement donne le système de distribution par courants ondulés.

1. La distribution des courants mono ou polyphasés et en particulier de ces derniers, à des stations de transformation qui alimentent une partie du réseau en courant continu, a été beaucoup employée dans ces dernières années pour presque tous les grands réseaux de traction. La puissance totale des commutatrices doit être pour le moins aussi grande que la puissance de la station centrale, et elle augmente lorsqu'on multiplie le nombre des stations de transformation, car la puissance maxima d'une commutatrice sera plus grande avec n stations de transformation que la $n^{ième}$ partie de la puissance maxima de la station centrale.

Pour une bonne utilisation de la station centrale et des stations de transformation, il sera bon d'installer dans celles-ci des batteries d'accumulateurs.

Quant aux commutatrices, on donnera la préférence aux commutatrices polyphasées qui ont un meilleur rendement. Toutes ces commutatrices ont des parties d'armature tournantes et nécessitent par suite une surveillance ininterrompue ; aussi a-t-on cher-

(1) Voir l'analyse de ce travail dans *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 498, 1er avril 1899.

ché dans ces derniers temps à en faire des appareils semblables aux transformateurs statiques. (Hutin et Leblanc, Blondel, Sahulka.)

La limite de ces aspirations est évidemment la nécessité, dans la transformation du courant alternatif en courant continu, d'avoir un mouvement relatif d'un contact contre des parties d'enroulement ; nécessité qui se traduit par la rotation d'une partie de l'appareil. L'immobilité du cuivre et du fer et la suppression de l'entrefer offrent évidemment des avantages au point de vue de la construction de ces appareils. Il faudrait pour que ce système de distribution par sous-stations fût pratique, que les parties tournantes soient réduites de telle façon qu'une surveillance périodique suffise.

Les rendements des commutatrices oscillent suivant la puissance, pour les commutatrices polyphasées, entre 90 et 96 p. 100; pour les commutatrices monophasées et en particulier le système moteur-générateur, il faut considérer 90 p. 100 comme le plus haut maximum possible; ces chiffres ne comprennent pas le rendement des transformateurs.

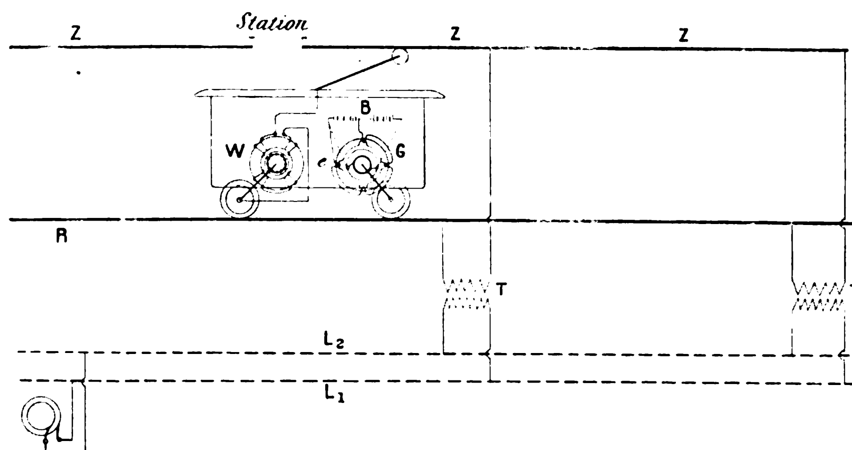


Fig. 3.

Quant à la place qu'occupent ces appareils, on peut donner comme minimum les chiffres de la Central-London-Underground-Railway. Les six commutatrices de 900 kw nécessaires sont réparties sur la longueur du tunnel qui est de 10 km et placées dans quatre ouvertures verticales de 7,5 m de diamètre, deux dans deux de ces ouvertures, une dans chacune des deux autres. Les transformateurs qui abaissent la tension de distribution de 5 000 à 500 volts en unités de 300 kilowatts sont placés, soit par 6, soit par 3, dans une semblable ouverture, et sont refroidis par des ventilateurs. La puissance totale de la station centrale est 6 × 850 kilowatts.

2. Dans la série des systèmes dans lesquels les voitures sont uniquement alimentées par du courant alternatif et sur lesquelles se trouvent des redresseurs de courant, l'emploi des redresseurs électrolytiques n'est pas pratique à cause des phénomènes secondaires qui se produisent. On ne pourra retirer de l'emploi de ces redresseurs que les avantages des moteurs à courant continu, sans aucun de ceux que donne l'usage des accumulateurs. La raison de ce système est due à ce que toute l'énergie nécessaire, c'est-à-dire l'énergie nécessaire pour la mise en marche augmentée de celle nécessaire pour la marche normale diminue celle récupérée à l'arrêt ou dans les pentes, est fournie à la voiture sous forme de courant alternatif.

Les batteries B (fig. 3) placées sur les voitures, récupèrent l'énergie à l'arrêt, aux pentes ainsi que celle prise à la marche normale et la rendent au démarrage et aux fortes montées.

****

La transformation de l'énergie par courant alternatif en énergie par courant continu résulte de ce que les moteurs à courant alternatif et ceux à courant continu sont solidement accouplés aux essieux de la voiture, et représentent par suite un système de transformation.

Les moteurs à courant alternatif peuvent être monophasés ou polyphasés ; dans le premier cas, deux lignes de distribution suffisent, dans le second cas, trois sont nécessaires.

Comme moteurs à courant continu, on peut prendre avec avantage les moteurs en dérivation ; l'excitation pourra être dérivée sur une partie de la batterie si la tension totale est trop élevée.

Dans la figure 3, L_1L_2 sont les lignes de distribution monophasée qui sont reliées par des transformateurs T avec la ligne d'arrivée du courant Z et la ligne de retour du courant R. La ligne Z peut être supprimée aux stations, passages à niveau, etc. W représente le moteur alternatif, G le moteur continu où *e* figure l'excitation.

La mise en marche dans le cas de moteurs monophasés s'effectue uniquement au moyen des moteurs à courant continu ; aux arrêts les moteurs continus fonctionnent également seuls (comme générateurs) sur les accumulateurs.

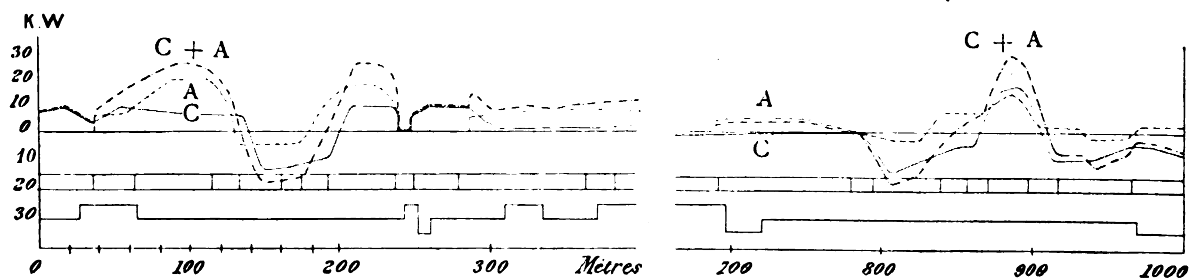


Fig. 4.

Suivant le degré de diminution de la tension des accumulateurs on rentre en possession d'une plus ou moins grande partie de l'énergie employée au démarrage. La mise en circuit des accumulateurs, des moteurs alternatifs, et la suppression des moteurs continus, se font par un combinateur. L'énergie qui manque est donnée à la batterie d'accumulateurs pendant la marche par la transformation du courant alternatif en continu ; le moteur à courant alternatif fournit également le travail nécessaire à la marche normale.

La figure 4 montre les parties d'un diagramme qui se rapporte à des essais faits avec la voiture suivante :

Poids total de la voiture	8.5 tonnes.
Poids à vide	3.5 »
Moteurs, etc..	2.5 »
Accumulateurs	2.5 »

La vitesse moyenne était de 15 km : heure ; la voiture était alimentée par du courant diphasé, tension par phase 500 volts, 15 périodes ; la batterie conduite qui était beaucoup trop forte avait une capacité de 25 amp : h et une tension de 300 volts.

Dans le diagramme donné, la ligne en trait plein C représente la puissance du courant continu, la ligne en trait ponctué A la puissance du courant alternatif en kilowatts, la ligne en trait mince C + A la somme de ces deux puissances.

On peut remarquer sur le diagramme qu'au démarrage le moteur continu seul travaillait, puis que les moteurs diphasés étaient mis en marche. Une petite partie montre également le fonctionnement du moteur continu comme génératrice. Dans les fortes descentes le moteur alternatif fournit également de l'énergie ; dans ce cas comme dans d'autres encore, le diagramme n'est pas utile, mais il démontre clairement la fonction

alternative des divers organes de la voiture.

Afin que la transformation du courant alternatif en continu soit possible, il faut que la machine à courant continu tourne à sa vitesse normale comme génératrice, c'est-à-dire qu'elle ait une tension supérieure à celle de la batterie d'accumulateurs. Par le réglage de cette tension, on peut régler très exactement l'énergie emmagasinée pendant la marche normale. Si l'on veut faire dépendre la puissance alternative et la puissance continue l'une de l'autre, on peut employer ou un régulateur automatique qui diminue l'excitation continue lorsque le glissement augmente, ou un compoundage approprié.

Par ce moyen, il est possible de maintenir la puissance des moteurs à courant alternatif sensiblement constante pendant la marche; comme tous les moteurs du réseau sont dans ce cas, il s'ensuit que l'on peut obtenir à la station centrale une charge sensiblement constante.

L'accroissement subit de courant que l'on remarque dans les stations centrales lorsqu'on met en marche plusieurs voitures à la fois, est complètement supprimé.

On retrouve dans ce système de distribution les traits caractéristiques de la traction par courants continus : l'action égalisatrice de la batterie tampon, et la récupération partielle de l'énergie nécessaire pour la mise en marche.

La capacité de la batterie devrait se déterminer d'après le courant et le temps de démarrage; pour la sécurité il faut prendre une capacité égale à 5 à 6 fois la première. Il faut bien tenir compte également de l'échauffement de la batterie et de son poids. Une série de calculs donne le poids de la batterie qui doit être de 12 à 25 p. 100 du poids total.

La puissance des moteurs continus se détermine d'après la puissance nécessaire au démarrage, et est par conséquent indépendante des moteurs alternatifs; la puissance de ceux-ci est fonction de la puissance nécessaire pour la marche normale, de l'énergie à fournir aux accumulateurs et du temps de marche à vitesse normale. Si cette durée est faible, la puissance des moteurs alternatifs sera d'autant plus grande, et pour de grands éloignements de stations, la puissance des moteurs alternatifs ne sera que très peu supérieure à celle nécessaire à la marche normale. Les calculs des deux cas suivants donnent une idée de l'ordre de grandeur de la puissance des moteurs employés; ces calculs se rapportent à des moteurs monophasés et à des batteries transportables :

PREMIER CAS

Composition du train : 6 wagons à 2 essieux de 18 t. = 108 t.

Vitessse maxima	10 m par sec.
Distance moyenne entre 2 stations.	1 km.
Durée de démarrage	30 sec.
Durée de l'arrêt	20 sec.
Vitesse moyenne	25 km : heure.
Rampe maxima	20 p. 100.
Rampe moyenne	1,3 p. 100.
Puissance du moteur continu au démarrage	46 kw.
Puissance maxima du moteur alternatif	60 kw.
Puissance maxima pendant la marche.	60 kw.

DEUXIÈME CAS

Composition du train : 1 wagon à 4 essieux de 15 t. et 2 wagons de marchandises de 15 t. = 45 t.

Vitesse maxima	7 m par sec.
Distance moyenne entre 2 stations.	6 km.
Durée du démarrage	90 sec.
Durée de l'arrêt	60 sec.
Vitesse moyenne	23 km : heure.
Rampe maxima	5 p. 100.
Rampe moyenne	2 p. 100.
Puissance du moteur continu au démarrage	36,4 kw.
Puissance maxima du moteur alternatif	25 kw.
Puissance maxima pendant la marche.	42 kw.

Dans les deux cas, l'emploi de deux sortes de courants indique une augmentation de l'ensemble de la puissance des moteurs, à cause de l'augmentation du poids de la voiture. Comme il est impossible de placer les deux moteurs, continu et alternatif, sur le même essieu, on ne peut employer le poids total comme poids d'adhérence. La question

de la batterie d'une part, et la réunion électrique des deux moteurs d'autre part, forment le point de départ pour un plus grand développement du système Déri.

Avant de procéder à l'étude de ce système, l'auteur examine le moteur à courant continu et alternatif combinés. L'idée fondamentale qui a guidé Déri dans l'établissement de son moteur, est identique à celle qu'il a employée pour obtenir des moteurs mono ou polyphasés à fort couple de démarrage.

Chaque enroulement s'il produit un champ ou s'il se trouve dans un champ peut être supposé formé par une série de barres inductrices ou induites réunies ensemble, et qui donnent des directions de courant, qui, à la circonférence, changent aussi souvent que des pôles sont produits ou existent. Ainsi, pour un moteur à 4 pôles, le changement de direction du courant se produira 4 fois. Si ces barres sont des parties d'un enroulement en tambour, il faut qu'il y ait au moins une barre positive et une négative en série, et ces séries peuvent être combinées à volonté. Si ces barres sont des parties d'un enroulement en anneau, à chaque barre correspond une barre neutre qui forme avec la première une bobine de l'enroulement. Si nous réunissons les barres de l'induit (fig. 5 *a*) en tenant compte de leurs signes, et si nous y envoyons un courant, nous obtenons un champ magnétique à 4 pôles ; si un champ à 4 pôles se déplace relativement à cet enroulement, on obtient des courants qui alternent 4 fois sur la circonférence. Si nous voulions obtenir un champ à 8 pôles, il faudrait avoir les directions de courant représentées figure 5 *b* ; les éléments 1, 4, 5, 8 devraient changer de sens.

La moitié des barres conservent leurs directions, les autres changent de direction ; cette règle simple nous permet de faire un enroulement soit pour p_1 pôles soit pour p_2.

Décomposons l'enroulement précédent soit 5*a*, soit 5*b* en deux parties : AB comprenant les barres 2, 3, 6, 7 et CD comprenant les barres 4, 5, 8, 1, on obtiendra en connectant suivant ABCD un enroulement à 8 pôles et suivant ABDC un enroulement à 4 pôles.

Si l'on veut utiliser l'enroulement à la fois comme enroulement d'excitation à 4 pôles et

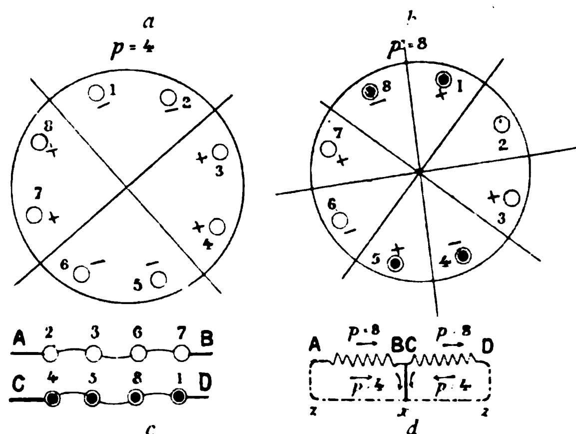


Fig. 5.

à 8 pôles, on connecte les barres suivant ABCD (fig. 5 *d*), en insérant une source de courant dans le circuit ; puis on place en pont suivant BC — X la seconde source de courant.

Si l'enroulement ABCD doit être induit à la fois par un champ à 8 pôles et par un champ à 4 pôles, les courants induits par le premier passeront dans le circuit ABCD ; pour ceux induits par le second, AB et CD sont connectés en parallèle par le pont.

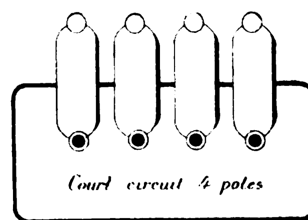


Fig. 6.

On peut encore connecter les barres entre elles suivant la figure 6 ; les barres 2, 4 ; 3, 5 ; 6, 8 et 7, 1 représentent des bobines séparées en court-circuit, placées dans un champ à 4 pôles ; pour un champ à 8 pôles, 2 et 4, 3 et 5, etc., sont connectés en parallèle (fig. 7), et les bobines séparées sont placées en série, la figure 8 montre le cas où des groupes de

bobines en court-circuit, pour un nombre de

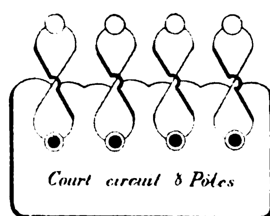


Fig. 7.

pôles donné, sont reliés à un enroulement à collecteur pour un autre nombre de pôles.

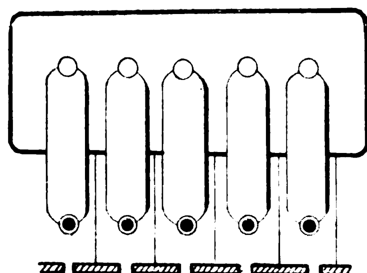


Fig. 8.

La figure 9 représente un cas où deux éléments de tambour réels (2×2 barres) sont

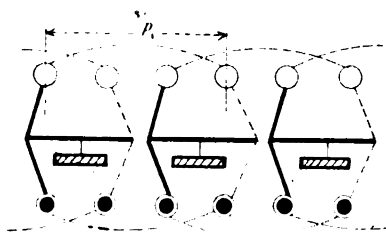


Fig. 9.

réunis en série pour le nombre de pôles p_1, et

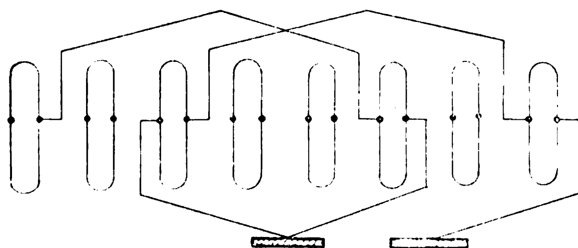


Fig. 10.

sont réunis à un enroulement à collecteur pour un autre nombre de pôles.

La figure 10 montre comment de tels éléments en court-circuit peuvent être reliés suivant les règles générales des enroulements à courant continu avec collecteur. Les figures 11 *a* et 11 *b* et les figures 12 *a* et 12 *b* représentent des enroulements réalisés pour 4 et

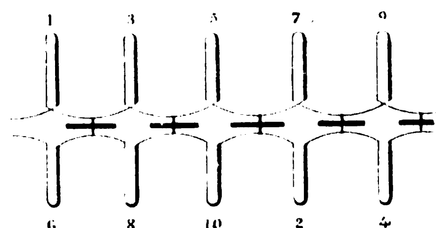


Fig. 11 *a*.

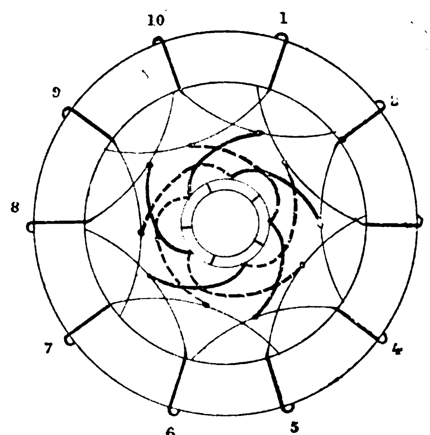


Fig. 11 *b*. — Bobines court circuit $p = 4$. Collecteur $p = 6$.

6 pôles et 10 éléments. Dans la figure 11, l'enroulement est à 4 pôles, dans la figure 12 il est à 6 pôles.

Quant à ce qui concerne l'excitation, nous avons déjà vu (fig. 5) qu'il était possible d'exciter deux champs à pôles différents avec le même enroulement, par exemple un champ alternatif à p_1 pôles et un champ continu à p_2 pôles.

On peut aussi, et ce sera le cas pratique, employer des enroulements séparés. Si le système mobile fonctionne comme induit en court-circuit à p_1 pôles, et comme induit à courant continu à collecteur à p_2 pôles, on a réalisé un moteur combiné alternatif-continu. Le flux magnétique commun est sans influence nuisible si la perméabilité du fer est

grande. Le bon fonctionnement d'un moteur alternatif exige les conditions suivantes, faible entrefer et répartition uniforme du fer ; cette dernière condition augmenterait le champ de l'induit et par suite la réaction d'induit. Cette difficulté amena Déri à une compensation de

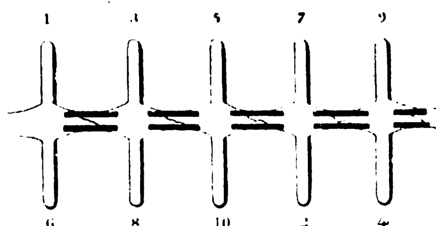


Fig. 12 *a*.

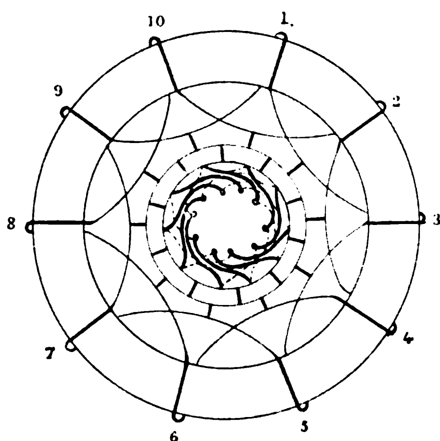


Fig. 12 *b*. — Bobines court circuit $p = 8$. Collecteur $p = 4$.

ce champ induit, dont l'idée fondamentale est la suivante.

La suppression de ce champ induit n'a lieu que par la superposition d'un champ égal et opposé à chaque endroit.

Un tel champ ne peut être obtenu que par des fils répartis uniformément autour de l'induit. L'introduction de ces enroulements de compensation est rendue possible par la répartition régulière du fer du système fixe.

L'enroulement de compensation est placé dans des encoches réparties sur toute la circonférence du système fixe, en sorte que les ampères-tours positifs de l'induit et les ampères-tours négatifs de l'enroulement de compensation sont situés l'un à côté de l'autre.

Cette compensation quoique augmentant un peu le poids de cuivre et les pertes par effet Joule, permet de laisser les balais pour n'importe quelle charge, positive ou négative, dans la zone neutre.

Dans la figure 13, A représente l'induit, dont l'arbre est solidement accouplé avec l'arbre de la roue ; l'induit est placé en série avec l'enroulement de compensation C, qui est en réalité réparti sur toute la surface du système fixe, et la batterie B. Sur une partie ou sur la totalité de la batterie est placé l'enroulement inducteur E. Le courant alternatif pénètre par les deux bornes K_1 et K_2.

Pour terminer la description de ce moteur, l'auteur donne les quelques résultats suivants :

Les dimensions des systèmes fixe et mobile sont celles d'un moteur polyphasé de 15 chevaux, ou d'un moteur monophasé de 12 chevaux.

Les encoches de ce moteur n'étaient pas appropriées et les rendements calculés étaient peu élevés. Les mesures suivantes présentent une concordance parfaite avec les calculs, ce qui fait espérer que dans l'avenir, lorsqu'une plus grande section de cuivre sera utilisée pour le même poids de fer, on pourra obtenir de meilleurs rendements.

MOTEUR DOUBLE (CONTINU ET ALTERNATIF)

Nombre de tours		670
Moteur alternatif : volts		120
»	ampères	105
»	watts	6 500
Moteur continu : volts		107
»	ampères	68
»	watts	7 276
Puissance rendue en watts		11 250

Rendement : 82 p. 100 (calculé 82,4).

TRANSFORMATEUR TOURNANT

Nombre de tours			690
Moteur alternatif : (puissance prise) volts			120
»	»	watts.	6 400
Moteur continu : (puissance rendue) volts			72
»	»	amp.	54
»	»	watts.	3 890

Rendement : 59 p. 100 (calculé 59).

En ce qui concerne l'effet de la compensation, les balais étant placés dans la zone

neutre, on ne distingua aucune étincelle à quelle que charge que ce fût.

Par ces moteurs combinés, qui, pour la même puissance, donnent une diminution de poids des moteurs et une utilisation complète du poids d'adhérence, un des deux inconvénients du système combiné alternatif-continu est efficacement supprimé. Le second inconvénient est dû aux accumulateurs. Dans bien des cas les accumulateurs transportables pourront être remplacés avec avantage par des accumulateurs fixes. L'effet égalisateur des batteries s'étend alors à la plus grande partie du système ; la capacité nécessaire est moindre que la somme des capacités qui seraient nécessaires pour les voitures ; finalement les frais d'entretien pour des batteries fixes sont beaucoup plus faibles. Dans une description plus large de son système, Déri propose d'employer à côté des transformateurs statiques des accumulateurs fixes. Il y a par conséquent des lignes à courant continu et des lignes à courant alternatif ; ces dernières

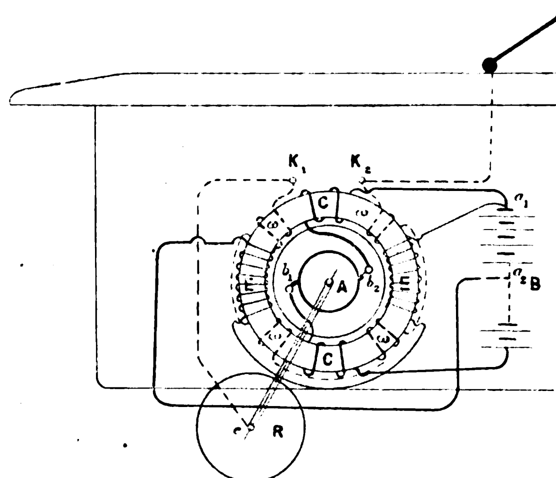


Fig. 13.

peuvent être supprimées aux stations, passages à niveau, etc. Ce système appartient à la troisième catégorie.

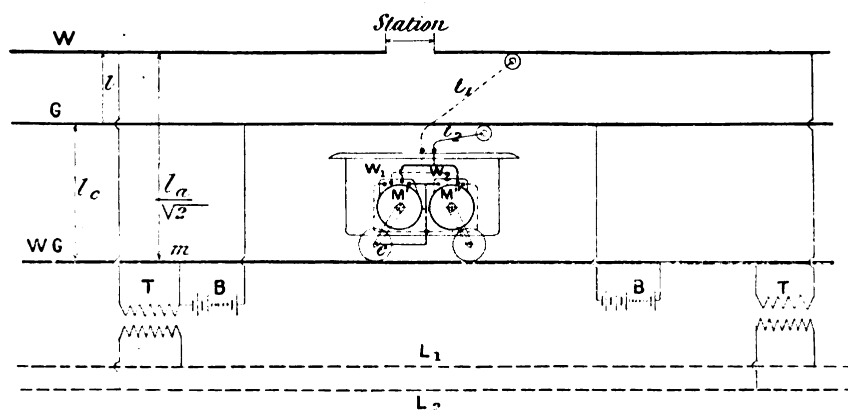


Fig. 14.

3. Le réseau complet est un système à 3 fils dont une des branches est un réseau de distribution à courant alternatif, l'autre un réseau à courant continu (fig. 14). L_1 et L_2 sont les lignes à courant alternatif à haute tension ; TT les transformateurs ; BB les batteries. W est la ligne d'amenée du courant alternatif, G celle du courant continu, WG le retour commun (rails) ; le courant alternatif et le courant continu sont amenés au moteur par les trôlets t_1 et t_2.

En ce qui concerne le passage du courant alternatif et du courant continu dans la même ligne, c'est comme si ces deux sortes de courant étaient séparées. Lorsque le courant ondulé I_w est formé d'un courant continu I_c et d'un courant alternatif $I_a \sin 2\pi nt$ on a :

$$I_{w'} = I_a \sin 2\pi nt + I_c$$

d'où

$$I_{w'}^2 = I_a^2 \sin^2 2\pi nt + I_c^2 + 2 I_a I_c \sin 2\pi nt$$

et la valeur efficace du courant ondulé I'_w est

donnée par l'équation

$$I_{w'}^2 = \frac{I_a^2}{2} + I_c^2 \ldots \quad (1)$$

Une égalité semblable donne aussi la tension résultante d'une tension continue et d'une tension alternative. On peut voir par l'équation (1) que les pertes par effet Joule d'un courant ondulé sont égales à la somme des pertes des deux courants. La perte de tension pour chaque sorte de courant est indépendante de l'autre courant.

Comme les batteries donnent au démarrage des voitures plus d'énergie qu'elles n'en reçoivent aux arrêts et aux pentes, il faut qu'il y ait une transformation du courant alternatif en courant continu, transformation produite par les moteurs combinés. Ce système présente tous les avantages du système de distribution à haute tension par transformateurs statiques, ainsi que l'action égalisatrice des batteries tampon. Déri a fait davantage et a supprimé complètement la ligne G.

Si $\frac{l_a}{\sqrt{2}}$ est la tension efficace des circuits secondaires des transformateurs, l_c la tension

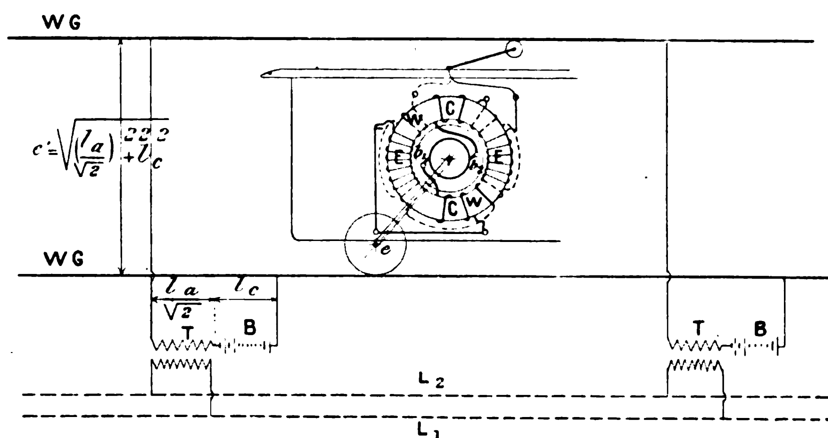


Fig. 15.

des batteries B connectées en série avec les transformateurs, la tension ondulée entre les deux lignes est :

$$l' = \sqrt{\left(\frac{l_a}{\sqrt{2}}\right)^2 + l_c^2}$$

L'intensité du courant alternatif est

$$I_a' = \frac{I_a}{\sqrt{2}} \text{ et la tension } l'_a = \frac{l_a}{\sqrt{2}}$$

d'où

$$I_a' = \frac{l_a'}{r'}$$

ou r' est la résistance apparente de l'appareil intercalé dans le circuit.

L'intensité du courant continu est

$$I_c = \frac{l_c - \delta_c}{r}$$

r est la résistance ohmique et δ_c la force contre-électromotrice de l'appareil en circuit.

L'intensité du courant ondulé est alors

$$I_{w'} = \sqrt{I_a'^2 + I_c^2}$$

Sur une telle tension ondulée, on ne doit naturellement pas placer d'appareils qui ne présentent pas de force contre-électromotrice à l'une des tensions composantes. Une batterie d'accumulateurs serait un court-circuit pour une tension alternative et un moteur alternatif serait un court-circuit pour une tension continue. Si l'on ferme un circuit comprenant un moteur alternatif et une batterie d'accumulateurs sur une tension ondulée, chaque sorte de courant ne produira du travail que dans l'appareil qui lui correspond, et traversera l'autre comme simple résistance ohmique.

Naturellement, on peut placer une batterie d'accumulateurs ou un moteur continu sur une tension ondulée, en intercalant dans le circuit une bobine de self-induction, un appareil alternatif en intercalant un condensateur.

Pour la traction ceci n'est pas nécessaire. Dans les moteurs combinés placés sur les voitures, le courant alternatif entre par exemple par K_1, traverse l'enroulement alternatif jusqu'en K_2, entre alors dans l'enroulement de compensation C et l'induit, puis arrive à la seconde ligne. L'induit d'une dynamo ordinaire a une grande self induction; le courant alternatif qui la traverse produit une chute de tension induite. Les enroulements de l'induit et de compensation réunis sont sans self-induction. En ce qui concerne l'excitation continue, elle est représentée figure 15 comme excitation en dérivation.

Elle est placée directement sur la tension ondulée, et grâce à sa grande self-induction, il n'y passe qu'un courant alternatif très faible. L'excitation en série est impossible, car les bobines magnétisantes formeraient des bobines d'induction.

Par ce système de traction, les pertes ohmiques augmentent, tant aux endroits d'utilisation qu'aux sous-stations. Encore ici, le courant continu passe par l'enroulement du transformateur, et le courant alternatif par les accumulateurs.

On n'a traité jusqu'ici que le système monophasé-continu; pour le système polyphasé-continu il y a une ligne alternative en plus.

Les trois formes du système Déri ne conviennent pas également à tous les cas. Pour de grands éloignements de stations et pour peu de trains il est préférable de prendre des accumulateurs transportables, pour de petits éloignements de stations et pour un grand nombre de trains, les accumulateurs stationnaires conviennent mieux. Dans le cas où la question de rendement n'est pas prépondérante, on remplacera le système à 3 lignes par le système à 2 lignes (système à courant ondulé).

En général, chaque réseau de traction est à traiter séparément. Il y a évidemment des cas où les systèmes combinés n'ont pas de raison d'être. Les réseaux peu étendus avec un trafic important (réseaux de tramway), exigent le simple système à courant continu. Pour de grandes distances avec un faible trafic et des montées continuelles, il est préférable d'alimenter directement les voitures avec des courants polyphasés, malgré les trois lignes nécessaires et les inconvénients des moteurs polyphasés. Dans le cas d'un trafic intense sur de faibles distances, avec des trains relativement lourds et marchant vite, on peut actuellement employer le système combiné alternatif-continu avec des batteries tampons. Pour un trafic éloigné, les transformateurs statiques et les batteries transportables sont de quelque valeur; premièrement, parce qu'ils peuvent rester sans surveillance; en second lieu parce qu'ils rendent superflues les lignes de distribution en certains endroits. Aussi les systèmes combinés ont-ils un vaste champ d'application dans la traction électrique future des chemins de fer.

(*A suivre.*)

P. Diény.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Dispositifs pour l'indication du synchronisme dans la mise en parallèle de deux alternateurs;

Par Hermann Müller [1].

Une première disposition repose sur l'emploi de deux champs tournants, elle permet de juger de la concordance de phase des deux alternateurs et de déterminer si la machine à introduire dans le circuit fait un nombre de tours trop faible ou trop fort.

La figure 1 représente l'ensemble de l'ap-

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, 15 juin 1899, t. XX, p. 416.

pareil. M et *m* sont deux champs tournants concentriques. L'anneau M est fixe, et alimenté par la source I qui est en action; l'autre *m* peut tourner autour de l'axe, il est alimenté par la source II que l'on veut introduire dans le circuit. Les liaisons de l'anneau fixe et de l'anneau mobile sont disposées de

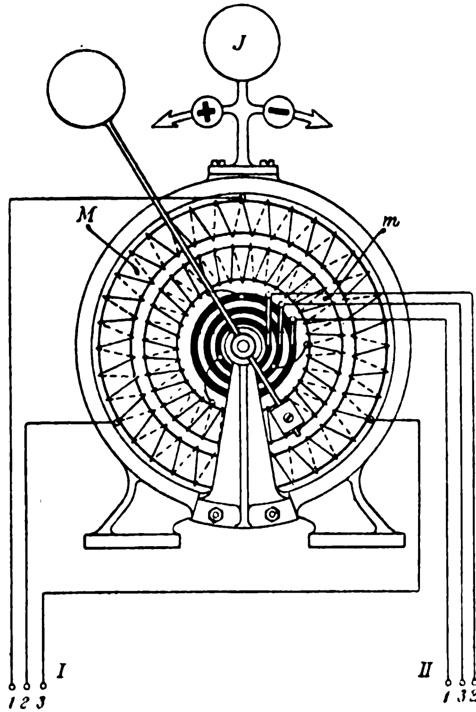


Fig. 1.

telle sorte que les champs magnétiques engendrés par les courants polyphasés tournent dans le même sens. De cette façon, il ne se produit aucun mouvement de la partie mobile si les vitesses de rotation des deux champs sont les mêmes, c'est-à-dire si les périodes des deux alternateurs sont concordantes. Mais un moment de rotation prend naissance si les périodes diffèrent et la rotation a lieu dans le sens du champ magnétique induit ou en sens contraire, suivant que le nombre de périodes de la source II est plus petit ou plus grand que celui de la source I.

La vitesse de rotation est à chaque instant égale à la vitesse relative des deux champs, elle est donc proportionnelle à la différence des nombres de périodes des deux sources. Sur l'axe de la partie mobile est fixée une aiguille munie d'un disque indicateur, de

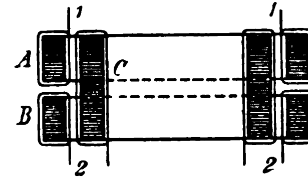


Fig. 2.

sorte que le mécanicien juge la manœuvre qu'il doit effectuer d'après la grandeur du

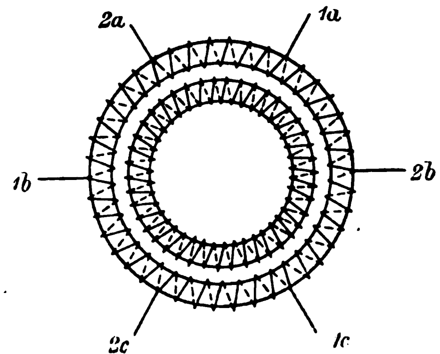


Fig. 3.

mouvement de l'indicateur. Pour apprécier la concordance des phases, un index fixe J est placé sur l'appareil et réglé de telle sorte

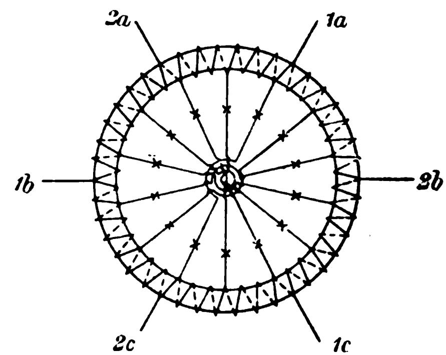


Fig. 4.

que le disque mobile recouvre exactement cet index lorsqu'il y a concordance. Il est à remarquer que l'appareil développant une certaine force mécanique peut être employé

pour produire le réglage automatique de la machine à mettre en circuit.

On peut employer une autre disposition dans laquelle les deux champs magnétiques engendrés tournent en sens contraires et induisent un enroulement annulaire qui actionne un signal optique, par exemple une rangée de lampes à incandescence dont l'éclat varie suivant une certaine loi ; la rotation du champ fait varier l'éclat de chaque lampe et produit l'aspect d'une rotation.

L'appareil se compose dans ce cas de deux anneaux A et B (fig. 2). L'enroulement triphasé de A est alimenté par la machine I, l'anneau B identique au précédent est alimenté par la machine II ; les connexions sont telles que les champs magnétiques engendrés tournent en sens inverses. Ces deux champs

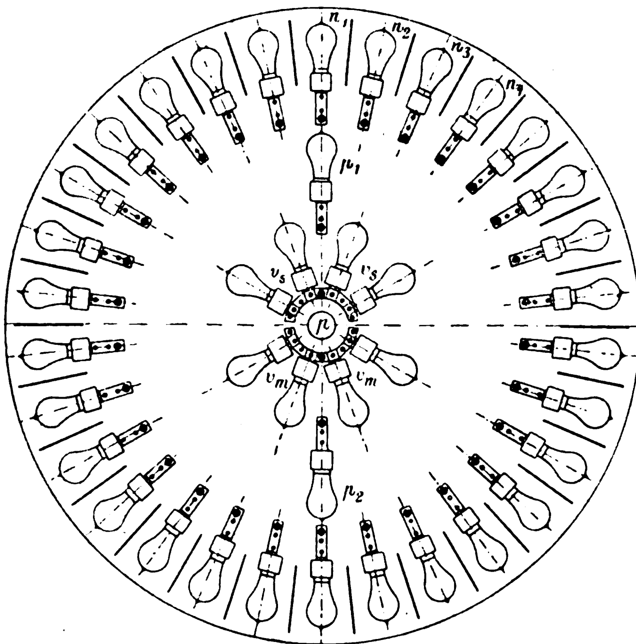
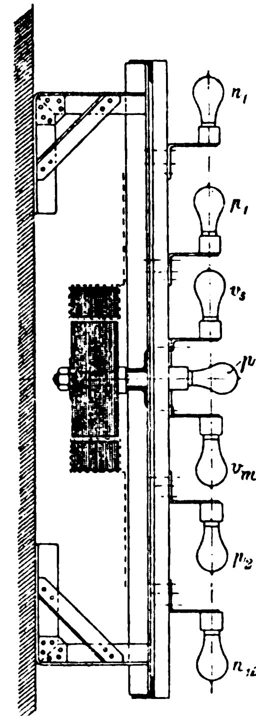



Fig. 5 et 6.

tournants agissent sur un troisième enroulement C divisé en sections, chaque section alimentant une lampe à incandescence. Si les nombres de périodes sont égaux, les deux champs tournent avec la même vitesse et ont une résultante fixe, ils agissent donc sur le troisième enroulement de façon que les mêmes lampes brûlent toujours avec le même éclat, elles semblent immobiles. Mais quand les nombres de périodes sont différents, les champs ne tournent plus avec la même vitesse et la résultante tourne dans le sens de rotation du champ le plus rapide, de sorte que d'autres spires de l'enroulement C subissent l'induction maxima, et que les lampes prennent successivement une intensité maxima et paraissent tourner. Le sens dans lequel les lampes semblent tourner sert à indiquer si le nombre de périodes de la machine à introduire est trop faible ou trop fort; d'après la vitesse du mouvement on peut juger la différence des nombres de périodes. La concordance a lieu lorsque l'éclat reste fixe.

Dans la figure 2 les trois anneaux de fer sont distincts, on peut cependant mettre les enroulements correspondants aux deux machines sur un même anneau (fig. 3), l'enroulement des lampes étant disposé sur un deuxième noyau. On peut également établir les trois enroulements sur le même anneau.

Ainsi dans la figure 4 il n'y a plus qu'un seul enroulement, les points à 60° sont alimentés par les courants triphasés des deux machines et les circuits des lampes sont pris en des points diamétralement opposés; il y a deux lampes sur chaque branche diamétrale.

Les figures 4 et 5 représentent une disposition pratique de l'appareil, les lampes *n* constituent le cylindre lumineux mobile, les lampes *p* sont les lampes dites de phases qui brillent toujours à la concordance des phases et que l'on distingue des autres par leur couleur; enfin les lampes *v* sont reliées à la machine et servent à la comparaison des tensions. G. G.

Dispositifs qui favorisent le réglage de la vitesse dans les installations mues par puissance hydraulique.

Par Allan V. Garratt [1].

L'auteur prévient qu'il ne discutera pas la théorie, ni la construction ou les mérites des régulateurs existants : il veut préciser quelques points relatifs au réglage de la vitesse.

Il arrive fréquemment qu'on doit étudier un projet pour une puissance hydraulique qu'on n'aménagera pas tout de suite complètement : il faut pourtant débuter dans de bonnes conditions mécaniques et électriques, et aussi s'arranger de façon que la vitesse reste à peu près constante, quelles que soient les variations du travail moteur ou résistant.

Le type des générateurs adoptés, la nature de la charge déterminent le degré de régulation à rechercher.

La plus grande variation de charge accidentelle est celle qui fait arriver à la puissance limite des turbines. L'auteur estime que, pour une installation bien faite, la vitesse peut être maintenue, même dans ces conditions, à moins de 5 ou 6 p. 100 de sa valeur normale, et qu'elle peut reprendre cette valeur normale en 5 à 15 secondes, selon l'énergie cinétique de la colonne d'eau. Il précise, au point de vue de la régulation, les différences entre la vapeur et l'eau.

L'eau est pesante, pratiquement incompressible et inexpansible, elle doit arriver à l'appareil hydraulique en grande quantité et avec une faible vitesse : la vapeur, au contraire, est légère, très compressible et expansible, on peut l'envoyer à la machine en petite quantité et avec une grande vitesse. De là résulte ce fait que les valves pour la vapeur sont légères, petites, faciles à équilibrer, mais celles qui servent pour l'eau sont naturellement de grandes dimensions, lourdes, et fréquemment non équilibrées. Enfin l'inertie de la vapeur peut toujours être négligée, celle de l'eau ne doit jamais l'être. Le problème du réglage d'une turbine correspond donc à l'étude de la mise en mouvement d'un fluide pesant et pratiquement incompressible, soumis seulement à la pesanteur, et aussi à l'étude du déplacement de lourds organes, avec les qualités de précision et de rapidité.

Considérons deux turbines, travaillant sous la même chute H : l'une, désignée sous le n° 1, est à chambre ouverte; l'autre, n° 2, est à bâche fermée et la mise en charge se fait au moyen d'un long tuyau presque horizontal. Admettons que le rendement des turbines soit le même à tous les degrés d'ouverture des vannages et que la puissance soit proportionnelle à la quantité d'eau qui traverse l'appareil sous pression constante.

Dans ces conditions, si la turbine n° 1 travaille à vannages complètement ouverts, et si, après qu'on a réduit le travail résistant de moitié, le régulateur ferme l'admission de manière à diminuer également de moitié la quantité d'eau qui passe, la vitesse restera relativement constante.

Que se passe-t-il pour la turbine n° 2 ? Dans les mêmes conditions, la vitesse de l'eau

[1] Mémoire présenté à la seizième réunion générale de « l'American Institute of Electrical Engineers » à Boston, le 27 juin 1899, publié par *The Electrical Review* (New-York) du 26 juillet, des 2 et 9 août 1899, t. XXXV, p. 56, 74 et 93.

dans la conduite devra être réduite de moitié : le travail produit par la turbine pendant le temps que dure cette diminution de vitesse, tendrait à la faire emballer si le régulateur ne fermait les vannages qu'à moitié ; en fait, il les ferme beaucoup plus et il agit de telle manière que la puissance développée par la turbine, dont la valeur à chaque moment est la somme de la puissance due à la chute H et de la puissance instantanée correspondant à la diminution de vitesse, à ce même moment, de la colonne d'eau qui se ralentit, fasse équilibre au travail résistant.

La question est compliquée à aborder par le calcul. L'auteur propose une méthode qui repose sur la connaissance de ce qu'il appelle la *pression de temps moyen* P (time-average pressure) par unité de section.

Soient : L, la longueur de la conduite forcée, en mètres ; V, la vitesse de l'eau, en mètres par seconde ; T, le temps en secondes, nécessaire pour l'amortissement de l'excès de vitesse de l'eau.

En appliquant la formule

$$\textit{force} = \frac{\textit{masse} \times \textit{vitesse}}{\textit{temps}},$$

on trouve, par unité de section (mètre carré)

$$P = \frac{LV}{T}$$

Comme une colonne d'eau de 1 mètre de hauteur exerce une pression de 1 tonne par mètre carré, une pression de P tonnes par mètre carré, représente une hauteur de chute de P mètres : autrement dit, si la pression sur la turbine avait pu rester constante pendant le temps que met la vitesse de la masse d'eau à diminuer de moitié, tout se passerait comme si la hauteur de chute avait été, pendant ce temps, (H + P) mètres et non H mètres. L'expérience montre qu'on ne peut fermer les vannages de manière à maintenir la pression constante, mais, pendant quelques instants, la pression de l'eau dépasse bien de P la valeur normale, et cela même crée une grande perturbation dans la vitesse.

Il faut noter un fait curieux : si, une turbine disposée comme l'est la turbine n° 2 travaille presque à pleine admission et qu'on vienne à enlever brusquement la plus grande partie de la charge, si, de plus, le régulateur n'est pas bon et ne compense pas l'énergie cinétique que met en liberté le ralentissement de la colonne d'eau, l'expérience montre que la vitesse augmentera plus que s'il n'y avait pas du tout de régulateur.

Cela tient à ce fait que, pendant quelque temps, la turbine travaille à faible charge et sous une pression d'eau très augmentée : la vitesse augmente donc elle-même beaucoup. On peut dire que la quantité d'énergie appliquée à la turbine, correspondant à la pression augmentée, même lorsque le régulateur a diminué un peu les sections d'admission, dépasse ce qu'elle aurait été si ces sections n'avaient été en rien modifiées.

De même, si l'on passe d'une faible charge à la pleine charge, la vitesse va baisser considérablement et, dans l'état actuel de la question, il n'y a à cela aucun remède.

Cherchons, en négligeant les corrections relatives aux frottements, combien de temps il faut à la colonne d'eau pour prendre sa vitesse.

Pour la turbine n° 1, la vitesse de l'eau entrant dans la turbine est $V = \sqrt{2gH}$.

Le temps, en secondes, nécessaire pour que l'eau atteigne sa vitesse dans la turbine est $\frac{V}{g}$.

On est assez près de la vérité en disant : si les vannages, étant fermés, venaient à être brusquement ouverts, l'eau donnerait toute sa puissance dans la turbine après un temps $\frac{V}{g}$.

Dans la turbine n° 2, l'eau va agir de tout autre manière.

La vitesse est la même que dans la turbine n° 1, moins la diminution provenant du frottement dans la conduite. L'eau, au lieu de tomber verticalement, coule en filets très peu inclinés.

L'auteur montre que le temps nécessaire à

l'eau pour prendre sa vitesse dans la conduite inclinée de pente α, T étant le temps nécessaire à l'eau pour prendre sa vitesse en chute verticale, est

$$T_1 = \frac{T}{\sin \alpha}.$$

Puis il donne les courbes représentant le temps nécesaire à l'eau pour atteindre des vitesses données, pour l'une et l'autre turbine.

Cherchons comment l'eau va développer sa pleine puissance sur les deux turbines considérées. La quantité théorique d'énergie P, que l'eau communiquerait à un obstacle, bien disposé dans son courant, peut être exprimée par la formule.

$$P = F + F = 2W\frac{V}{g} = 2a\frac{V^2}{g}.$$

où on distingue par :

F, la force d'impulsion et celle de réaction ;

W, le poids d'eau qui passe par seconde ;

a, la section de la veine d'eau en mètres carrés.

L'auteur a calculé la puissance développée par les turbines 1 et 2, à chaque dixième de seconde, de l'époque où l'eau est au repos, à celle où elle a pris toute sa vitesse ; il a représenté cela par des courbes ; pour la turbine 1, l'énergie arrive très vite à sa valeur maxima, et pour la turbine 2, elle garde longtemps des valeurs faibles avant d'atteindre cette valeur maxima. Ces courbes sont des paraboles ; par conséquent, la surface intérieure de la parabole représente la puissance que développe la turbine, depuis le temps où la vitesse est nulle jusqu'au moment où l'eau a pris sa pleine vitesse ; la surface extérieure représente le travail perdu. L'aire intérieure, limitée par une demi-parabole, vaut les $\frac{2}{3}$ de l'aire du rectangle qui entoure la courbe ; autrement dit, le travail développé par la turbine pendant qu'elle prend sa vitesse ne vaut que le $\frac{1}{3}$ du travail qu'elle peut produire, dans le même temps, à pleine admission et à pleine vitesse.

Il est important de noter que la difficulté de régler la vitesse n'est pas seulement fonction de la longueur de la conduite fermée, mais aussi est inversement proportionnelle au sinus de la pente. Quand le sinus vaut 1, c'est-à-dire que la conduite fermée est verticale, les difficultés dues à la lenteur du mouvement de l'eau sont minima, et le réglage sera le plus facile à obtenir.

Dans une installation, ce qui importe, c'est que la vitesse ne se modifie pas trop pour des variations assez notables du travail résistant et l'emploi du tube d'équilibre (*stand pipe*) peut permettre d'atteindre ce résultat. Si on enlève brusquement une partie de la charge, le régulateur ferme correctement les vannages, l'excès d'eau déborde à l'extrémité supérieure du tube d'équilibre ; la vitesse de l'eau dans la conduite ne s'amortira pas aussi rapidement que s'il n'y avait pas de tube d'équilibre et la pression dans la turbine ne subira pas trop d'augmentation. Pour obtenir un bon résultat, la partie supérieure du tube d'équilibre doit être très peu plus haute que le niveau de l'eau dans le bief d'amont, et le tube lui-même placé aussi près que possible des turbines. Si, peu de temps après avoir diminué, la charge revient, la vitesse de l'eau dans la conduite n'a encore que peu baissé, la colonne d'eau verticale du tube d'équilibre fournira alors à la turbine un avantageux appoint d'énergie. Il faut que la section soit assez grande pour empêcher le niveau de la colonne d'eau qui s'y trouve de descendre beaucoup pendant que l'eau de la conduite fermée reprend sa vitesse. Plus grand sera le diamètre du tube et moins grande sa hauteur au-dessous du niveau hydrostatique, meilleur sera le réglage de la vitesse. Il faut regretter que les expériences au sujet des tubes d'équilibre soient encore trop peu nombreuses pour qu'on puisse donner les règles pratiques de leur établissement.

L'auteur, d'après son expérience personnelle, affirme que l'usage d'un tube d'équili-

bre de grandes dimensions favorise le réglage dans des limites étroites, et son adjonction permet de corriger des installations qui ne pouvaient être réglées avant qu'on l'ait adopté.

Le tube d'équilibre sera donc précieux, généralement, pour les stations de tramways électriques et de transport de force motrice ; pourtant, il ne sera d'aucun secours dans la plupart des cas où la pente est faible si la charge passe instantanément de o à sa valeur maxima [1].

Une chambre à air disposée sur une conduite de mise en charge n'est effective que si elle a de grandes dimensions; encore faut-il noter que l'eau sous pression absorbe très facilement l'air : on devra donc adjoindre à la chambre une pompe à air et un niveau d'eau. C'est dans ces conditions seulement qu'on se met à l'abri des coups de bélier; d'ailleurs, une chambre à air n'aide en rien l'action du régulateur.

D'autres considérations très intéressantes se rapportent à la forme à donner aux aubages et à la manière de relier ceux-ci au régulateur. Comme on l'a déjà fait remarquer, les vannages sont nécessairement grands et pesants et, cependant, ils doivent être mus avec promptitude et précision. L'auteur a eu l'occasion de calculer la puissance nécessaire pour ouvrir ou fermer les vannages de plusieurs centaines de turbines et il est arrivé à cette conclusion que la question n'a jamais été traitée par les ingénieurs avec le soin qu'elle mérite (cette puissance variait entre 140 et 8 300 kilogrammètres : seconde). Tous les genres de vannages permettent un bon réglage s'ils sont bien construits.

Le régulateur devant développer une grande quantité d'énergie dans un temps extrêmement court, les transmissions sont sujettes à des avaries ; aussi les engrenages seront-ils parfaitement taillés et bien proportionnés à l'effort qu'on leur demande, les arbres, juste assez gros pour donner toute sécurité et résister à la torsion ; il est, en effet, indispensable que le moindre mouvement du régulateur soit immédiatement et intégralement transmis aux vannages. Les commandes à la main seront débrayées quand le régulateur devra fonctionner.

Les vannages cylindriques sont évidemment déséquilibrés d'une quantité égale à leur poids immergé, mais cela n'a pas une grosse importance. Quelques vannages présentent une tendance à rester fermés ou à se fermer ; d'ordinaire on les munit d'un contrepoids, mais, alors, il faut se méfier de l'énergie cinétique de cette masse supplémentaire; on doit se souvenir que cette énergie est proportionnelle à la masse et au carré des vitesses, de sorte qu'on sera dans les meilleures conditions avec un contrepoids important et à faible course.

On a parfois muni de doigts les vannages cylindriques, dans le but de guider l'eau : cette adjonction qui paraît innocente cause les plus grands ennuis : en effet, la direction de l'eau est telle que, toujours, ces doigts sont pressés de haut en bas, d'où il résulte pour le vannage une forte tendance à se fermer. En enlevant ces doigts, on peut réduire au moins de moitié le travail nécessaire pour l'ouverture du vannage, et cela rend toujours possible le réglage de la vitesse des turbines auxquelles on a enlevé cet accessoire. D'expériences suffisamment exactes, semble résulter que l'enlèvement des doigts n'affecte pas le rendement d'une façon sensible.

Enfin, pour terminer la question des vannages cylindriques, il faut noter qu'ils doivent être d'un maniement commode, ne pas être durs et ne pas se coincer.

Les vannages à volets présentent aussi des particularités : quelques constructeurs les montent de telle manière qu'ils soient en équilibre en toute position et les turbines

[1] La théorie exposée ne s'applique pas aux roues-turbines du type Pelton, pour lesquelles le réglage s'obtient en modifiant la quantité d'eau active sur la couronne mobile, l'eau qui se trouve en excès étant rejetée à l'extérieur sans produire d'effet utile. L'auteur ne parle pas du tout de ce cas. On peut remarquer, en passant, que ce mode de réglage diminue le rendement de la chute et ne peut s'employer que lorsqu'on a de l'eau en excès.

ainsi équipées ne laissent rien à désirer sous le rapport du réglage. L'auteur a pu observer sur quelques vannages, une tendance des volets à balancer, pour ainsi dire, vers l'avant et vers l'arrière et cela créait des oscillations qui semblaient inexplicables au premier abord.

Quand, pour agir sur les vannages, on emploie des vis sans fin ou des engrenages multiples qui permettent un grand nombre de tours du régulateur à main, on peut être assuré que le vannage sera dur à manœuvrer ou mal équilibré.

Quelles que soient les conditions financières de l'établissement d'une station hydro-électrique, il ne faudra jamais faire d'économies sur les canaux ou conduites d'amenée et de fuite, ni sur les turbines elles-même et leurs régulateurs.

On peut affirmer qu'à l'heure actuelle, on sait faire le réglage de la vitesse dans une installation aussi bien avec des turbines qu'avec les meilleures machines à vapeur. Le régulateur doit être très bien construit et bien étudié : on le jugera d'après sa promptitude et sa facilité d'action, son aptitude à compenser, par le mouvement correct des vannages, l'énergie cinétique correspondant au mouvement de la colonne d'eau. Les meilleurs régulateurs que l'on trouve sur le marché commencent à agir avant qu'aucun tachymètre industriel n'ait indiqué de changement dans la vitesse.

M. Allan-V. Garratt dit maintenant quelques mots des volants.

Soient I, le moment d'inertie du volant, P, la puissance emmagasinée par le volant qui tourne, ω, la vitesse angulaire, n, le nombre de tours par minute.

$$P = \frac{I\omega^2}{2} = \frac{I\left(\frac{2n\pi}{60}\right)^2}{2}$$

$$P = 0{,}00548\, In^2.$$

Posons

$$M = 0{,}00548\, I$$

M sera une constante spécifique pour un volant donné et représente l'énergie du volant pour 1 tour par minute.

Nous ne suivrons pas l'auteur dans ses calculs de détermination rapide des dimensions d'un volant pour turbine : c'est une application de ce qu'il a indiqué au sujet du mouvement de l'eau : le calcul précis est délicat à faire. Voici quelques résultats.

Si après qu'on a déterminé un volant caractérisé par une valeur M et un diamètre D, on veut réaliser un volant caractérisé par M_1 son diamètre sera

$$D_1 = \frac{\sqrt[5]{M_1} \times D}{\sqrt[5]{M}}.$$

Si un volant caractérisé par M, devait correspondre à P kilogrammètres par seconde à la vitesse normale de n tours, il en donnera P_1, à la vitesse n_1 telle que

$$n_1 = \frac{\sqrt{P - P_1}}{M} = \frac{\sqrt{Mn^2 - P_1}}{M}.$$

L'auteur affirme que, jamais, il n'a trouvé nécessaire, pour une turbine à chambre d'eau ouverte, d'installer un volant afin d'obtenir un réglage parfait de la vitesse dans toutes les conditions ; les différents organes en rotation dans l'installation : couronne mobile de la turbine, armature, poulies, etc., ont un moment d'inertie et une vitesse angulaire suffisants pour permettre à un très bon régulateur de maintenir la vitesse entre des limites très satisfaisantes.

Si le plan de l'installation hydraulique est défectueux, il est plus sage d'essayer de l'améliorer, plutôt que de compter sur l'efficacité d'un volant.

En terminant, signalons que dans la longue étude dont on vient de lire l'analyse, se trouvent plusieurs applications numériques qui éclairent le texte et guident dans l'étude du réglage de la puissance hydraulique.

J. G.

Sur la vitesse de détonation de l'acétylène ;

Par Berthelot et Le Chatelier [1]

Les auteurs ont étudié la vitesse de propagation de la détonation de l'acétylène pur sous différentes pressions, et dans des conditions diverses. Cette étude, intéressante au point de vue des règles de l'emploi de ce gaz pour l'éclairage, a été exécutée au printemps 1898, par les procédés expérimentaux suivants :

« L'acétylène était contenu dans des tubes de verre horizontaux, longs de 1 m, d'un diamètre intérieur compris entre 2 mm et 6 mm, et d'une épaisseur comparable à ce diamètre. L'une des extrémités est close, l'autre rodée et ajustée à l'aide d'un joint en caoutchouc comprimé avec une pièce de fer, permettant l'introduction du gaz au sein du tube vidé à l'avance par un jeu de trompe. Le gaz était introduit sous diverses pressions, qui ont varié de 5 kg à 36 kg (ou atmosphères) : le gaz contenait, d'après analyse, 98 pour 100 d'acétylène.

» L'allumage se faisait électriquement dans la pièce de fer, à l'aide d'une amorce de fulminate, ou de poudre chloratée (sulfure d'antimoine et graphite), pesant en général de 1 à 4 centigrammes. Les amorces plus fortes doivent être évitées, parce qu'elles sont susceptibles de donner lieu à des mouvements ondulatoires violents, attribuables à l'action impulsive de l'amorce et non à la détonation même, mouvements dont la vitesse est souvent beaucoup plus considérable que celle de la propagation de la détonation véritable.

» Dans un certain nombre d'expériences, afin d'éliminer l'influence de la période initiale de propagation, on a fait précéder le tube de verre d'un tube de fer long de 1,50 m, à l'entrée duquel on déterminait l'allumage.

» L'enregistrement des phénomènes avait lieu par la méthode photographique, qui permet d'en suivre exactement toutes les phases, du moins tant que les gaz enflammés demeurent lumineux.

» Vis-à-vis du tube de verre horizontal, à une distance de 8 m environ, était disposé un appareil photographique. La plaque et sa lentille étaient fixées sur un cadre vertical à coulisses, le long duquel elle tombait, à l'instant même de l'allumage électrique de l'amorce. La vitesse de chute était de 8,30 m par seconde, enregistrée sur la plaque même. L'image de la flamme qui parcourt le tube s'enregistre ainsi sur la plaque, sous la forme d'une ligne plus ou moins courbe. L'inclinaison de la tangente (empirique) à cette courbe, en un point donné, permet de calculer la vitesse de propagation de l'explosion en ce point. Dans le cas d'une vitesse uniforme, on obtient une ligne droite plus ou moins inclinée sur l'axe horizontal. Les clichés ont été agrandis, dans la proportion de 1 à 3, de telle sorte que l'échelle des temps était de 25 mm pour un millième de seconde.

» Ce procédé enregistre non seulement la propagation de la flamme, mais aussi certains mouvements ondulatoires de retour, à partir de l'extrémité opposée à celle où a lieu l'inflammation : du moins toutes les fois que le tube n'est pas brisé et jusqu'à l'instant où les gaz refroidis cessent d'être lumineux.

» Dans tous les cas où le tube est brisé au cours de l'explosion, sa fracture, ou plutôt sa pulvérisation explosive, se propage en sens inverse et revient à l'origine du tube de verre, le phénomène étant enregistré fidèlement ainsi que sa vitesse relative.

» A ce moment, d'ailleurs, le carbone préalablement mis à nu dans le tube brûle au contact de l'air, en donnant lieu à des colonnes incandescentes qui partent du tube éclaté. »

Dans toutes leurs expériences les auteurs ont observé une vitesse croissant au fur et à mesure de la propagation de la flamme, la rupture du tube survenant en général avant

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 427-434, séance du 28 avril 1899.

que l'on ait obtenu une période de vitesse tout à fait uniforme. Toutefois, la progression des vitesses suit des marches bien différentes, même avec un gaz également comprimé et un mode d'inflammation en apparence semblable ; cette diversité paraît dépendre de ce qui se passe au voisinage de la région initiale d'inflammation, c'est-à-dire de la mise en train de la détonation.

Dans le plus grand nombre des cas, la courbe prend presque aussitôt une marche asymptotique ou, plus exactement, sa tangente, au bout d'un trajet fort court, diffère peu de la valeur qu'elle a acquise vers la fin du trajet; en somme, celui-ci tend à être presque rectiligne. Ce sont évidemment les meilleures déterminations. Seulement, au point final, au moment de la rupture des tubes, la valeur de la tangente devient parfois beaucoup plus forte. Mais la valeur obtenue à ce moment ne peut plus être regardée comme régulière.

En effet, la vitesse du gaz comprimé, qui s'échappe alors, sous la pression atmosphérique, du tube brisé, s'ajoute dans une certaine mesure à celle de la propagation de la flamme enregistrée ; en même temps, la combustion immédiate de ce gaz au contact de l'air développe une lumière plus éclatante, qui masque en partie la fin du premier phénomène.

Dans des cas assez multiples les variations ont été beaucoup plus prononcées pendant tout le cours de la détonation. Ainsi dans une expérience, exécutée dans un tube de diamètre intérieur égal à 4 mm, rempli d'acétylène sous une pression de 15 kg, la courbe s'élève d'abord presque verticalement, puis un peu inclinée : de telle sorte qu'entre les longueurs 0,10 m et 0,40 m la vitesse moyenne est seulement de 64 m ; elle croît rapidement. Entre 0,80 m et 1 m, la vitesse moyenne atteint 1 320 m. Le tube a éclaté seulement après qu'il avait été entièrement parcouru par la flamme. Son éclatement s'est propagé en arrière avec une vitesse à peu près uniforme de 1 200 m par seconde.

L'ensemble des expériences montre que la propagation de la détonation de l'acétylène s'effectue avec une vitesse qui croît avec la pression, soit de 1 000 à 1 600 m par seconde, lorsque la pression croît de 5 à 30 kg.

Les auteurs insistent ensuite sur les différences qui existent entre l'onde explosive de l'acétylène pur et l'onde explosive d'un mélange d'hydrogène et d'oxygène, ou de tout autre mélange gazeux combustible ; ainsi l'explosion de l'acétylène a un caractère éminemment brisant et, dans les expériences des auteurs, aucun tube de verre n'y a résisté au delà d'un mètre et le plus ordinairement d'un demi-mètre de longueur, tandis qu'avec des mélanges d'oxygène et d'acétylène pris à diverses pressions les tubes ont d'ordinaire résisté. Ces différences proviennent de ce que l'explosion de l'acétylène donne lieu à un produit solide, le carbone, qui est incapable d'emmagasiner la force vive comme le ferait un fluide élastique, tandis que dans l'explosion d'un mélange d'oxygène et d'acétylène il se produit de l'eau et du gaz carbonique, en partie dissociés au moment et à la température de l'explosion et qui se forment peu à peu, ce qui tempère la violence du choc initial.

J. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Étude des oscillations électriques à longue période ;

Par W. Konig (¹).

Drude signale dans son traité (*Phys. des Aethers*, p, 348), une méthode commode pour démontrer le caractère oscillatoire d'une étincelle. Le procédé, indiqué par A. Meyer, consiste à faire passer l'étincelle à travers un disque de papier recouvert de noir de fumée et animé d'un mouvement de rotation rapide.

Seulement il est presque impossible de juger d'après les traces des étincelles, s'il s'agit d'une succession de décharges de même sens ou de décharges de sens alternatif.

On réalise aisément l'expérience en disposant entre les pôles de l'étincelle une bande de papier noirci, et reliant cette bande à l'une des branches d'un levier coudé dont l'autre branche forme l'interrupteur de la bobine.



Fig. 1.

En même temps qu'on coupe le circuit, on communique ainsi à la bande de papier un déplacement rapide.

Lorsque l'étincelle est en série avec le condensateur dans le circuit secondaire de la bobine d'induction on obtient sur le papier quatre à cinq trous fins, assez éloignés l'un de l'autre. Si l'étincelle est en dérivation sur le condensateur, on obtient au contraire un assez grand nombre de trous plus accusés, avec les bords fortement soulevés et légèrement carbonisés, et dont les distances mutuelles sont beaucoup plus petites que dans le cas précédent.

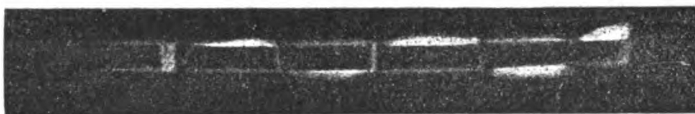


Fig. 2.

En réalité, ces décharges sont celles du condensateur; les charges apportées aux armatures par la bobine se recombinent par l'étincelle en un temps extrêmement court par rapport à la période des oscillations de la bobine; aussi les traces des étincelles se succèdent-elles à intervalles réguliers ; la décharge se produisant chaque fois que la différence de potentiel entre les armatures du condensateur a atteint la valeur limite qui correspond à la distance explosive, ces décharges se répètent donc, *dans le même sens*, jusqu'à ce que l'électricité fournie par la bobine ne soit plus en quantité suffisante pour charger le condensateur jusqu'à cette différence de potentiel. Chacune de ces décharges partielles affecte bien le caractère oscillatoire, mais le mouvement du papier est trop lent pour que ces oscillations puissent être mises en évidence.

Dans le cas où le condensateur et l'étincelle sont en série, on obtient bien les oscillations lentes de la bobine, mais le procédé est alors peu sensible parce que les effets des étincelles sont très faibles.

On arrive à de meilleurs résultats en obser-

(¹) *Wied. Ann.*, t. LXVII, 535-562, mars 1899.

vant les étincelles dans un miroir tournant ou les projetant sur un écran ou sur une plaque photographique au moyen d'un objectif tournant ; on reconnaît immédiatement leur caractère oscillatoire.

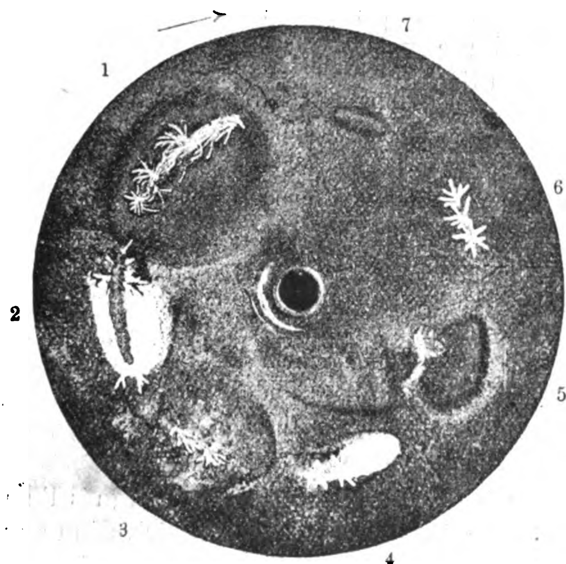


Fig. 3.

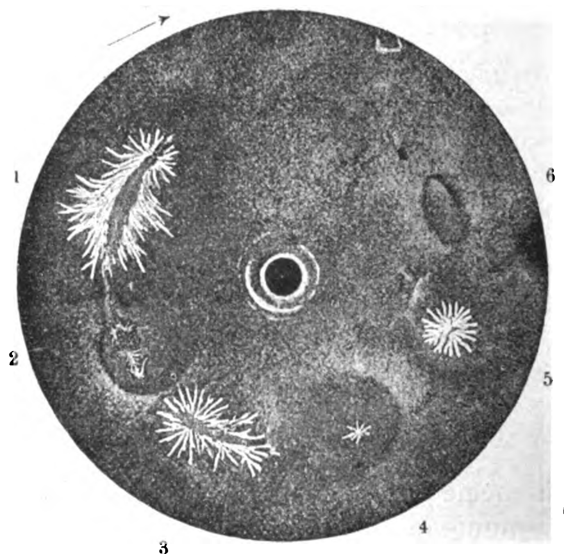


Fig. 4.

On peut encore fixer l'intervalle explosif ou la plaque photographique sur un pendule ou sur un disque tournant. C'est par ce dernier procédé qu'ont été obtenues les photographies reproduites sur les figures 1 et 2. Ces décharges sont obtenues à l'aide d'une bobine de 20 cm d'étincelle; le condensateur inséré dans le circuit secondaire est formé de deux grandes bouteilles de Leyde réunies en cascade. On voit sur ces images comment une première étincelle, correspondant à une grande différence de potentiel brise d'abord l'isolement et comment les oscillations se succèdent ensuite à travers l'isolant devenu conducteur. Cependant sur le cliché 2, comme sur beaucoup d'autres, on voit la trace d'une nouvelle étincelle au début de chaque demi-oscillation. Sur l'épreuve photographique l'air paraît obscur; mais quand on observe l'étincelle dans le miroir tournant, on constate que l'intervalle explosif est éclairé par une lueur rougeâtre, partant de l'anode et séparée de la cathode par une région obscure.

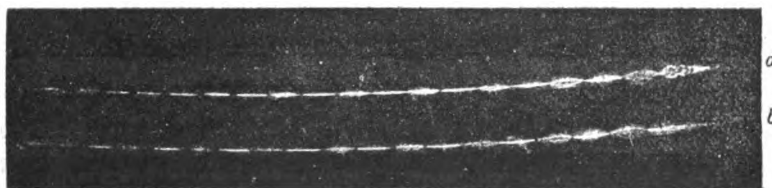


Fig. 5.

Pour déterminer la période des oscillations, il faudrait connaître la vitesse du pendule au moment de la photographie; mais comme il faut opérer dans la chambre noire, cette détermination présenterait quelques difficultés.

M. Konig a préféré employer les figures de Lichtenberg dont l'application à l'étude des oscillations a été proposée par von Bezold [1].

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XVI, p. 257.

Si au lieu de produire les dites figures sur un gâteau de résine fixe, on communique à ce gâteau un mouvement de rotation rapide, on met facilement en évidence le caractère des étincelles. A la vérité les premières décharges à cause de leur intensité donnent des figures assez compliquées, qui laissent le doute sur leur sens véritable; mais les dernières décharges, plus faibles, produisent seulement une étoile jaune ou une tache rouge et définissent nettement leur sens (fig. 3 et 4).

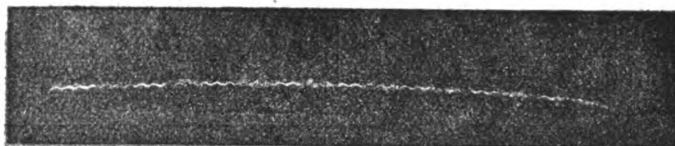


Fig. 6.

Cependant, sous cette forme, le procédé ne se prête pas à la détermination des périodes, parce que les contours des figures sont mal définis. On obtient de meilleurs résultats en remplaçant le gâteau de résine par une couche mince de vernis au bitume et en faisant s'écouler l'électricité non plus par une pointe métallique mais par un conducteur médiocre comme fétu de paille; les figures affectent alors la forme de traits alternativement rouges et jaunes (fig. 5). Si le fétu de paille est fixé à un diapason vibrant, ces traits sont distribués non plus sur une ligne droite, mais sur la ligne sinueuse tracée par le diapason et on détermine ainsi le rapport de la période des oscillations électriques à celle des oscillations du diapason (fig. 6).

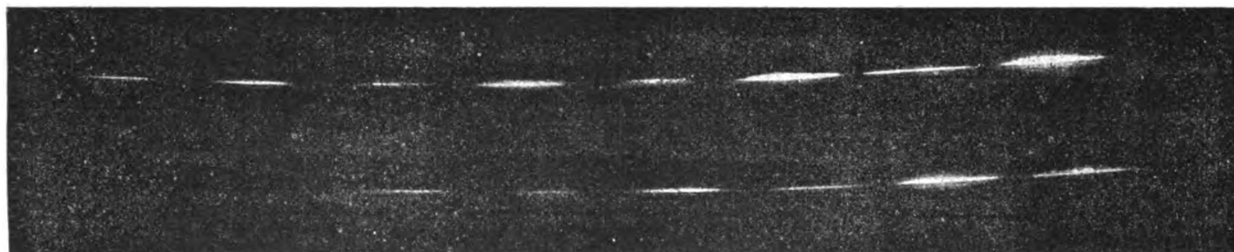


Fig. 7.

Si on fait frotter le fétu de paille sur une plaque photographique et qu'on développe ensuite cette plaque à la manière ordinaire, on obtient un dessin analogue aux figures de Lichtenberg (fig. 7, 8, 9) ; mais le procédé est moins sensible. Les figures elles-mêmes cessent d'être observables quand la différence de potentiel efficace descend au-dessous de 10 volts; les différentes déterminations ne s'écartent guère que de 1 p. 100 de la moyenne.

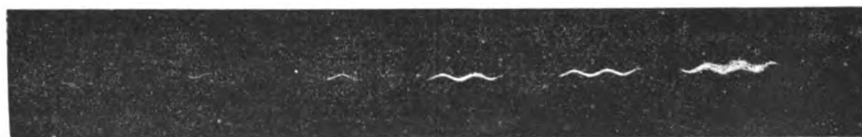


Fig. 8.

L'auteur a étudié ainsi les oscillations dans le secondaire d'une bobine sans noyau de fer doux, pour différentes valeurs de la capacité introduite dans le circuit. Aux erreurs d'expérience près, la période est proportionnelle à la racine carrée de cette capacité et il n'y a

pas lieu d'attribuer une capacité à l'enroulement secondaire.

M. Walter [1] a trouvé aussi que l'enroulement secondaire de la bobine ne possède qu'une capacité très faible.

Il est à remarquer que la somme des carrés des périodes obtenues pour chaque bouteille prise individuellement est toujours plus grande que le carré de la période trouvée directement pour l'ensemble des bouteilles. Cela tient selon toute vraisemblance à la capacité accessoire des fils de communication, des bornes, du diapason, etc.

M. Hanauer [1] a démontré que la capacité

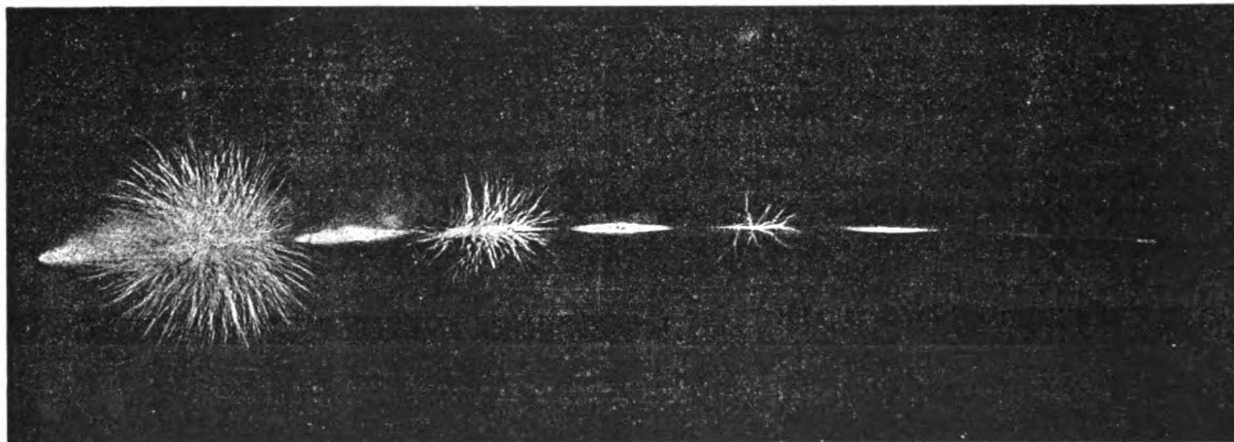


Fig. 9.

d'un condensateur à diélectrique solide diminue quant on augmente la fréquence du courant alternatif, à l'aide duquel on la mesure. Par conséquent, la capacité trouvée pour une bouteille seule serait plus grande que la capacité avec laquelle elle intervient dans l'ensemble ; le rapport $\frac{T^2}{c}$ augmenterait donc avec T^2 : au contraire, si l'enroulement secondaire possédait une capacité notable, ce rapport diminuerait quand c augmente.

Les expériences prouvent seulement que la *différence* entre ces deux influences de sens contraire est inférieure aux erreurs possibles.

Si la bobine renferme un noyau de fer doux, la première demi-oscillation est en général plus longue que les suivantes et souvent elle est précédée de deux oscillations beaucoup plus courtes, provenant sans doute des irrégularités de l'interrupteur. La période est naturellement beaucoup plus longue que sans le fer doux ; l'influence du noyau croît avec l'intensité du courant primaire. M. L.

CHRONIQUE

Utilisation directe des gaz des hauts fourneaux. — Dans une conférence faite le 23 avril dernier à une réunion des métallurgistes allemands, le professeur E. Meyer, de Gœttingue, une des personnalités les plus autorisées pour tout ce qui concerne les moteurs à gaz, a appelé l'attention des maîtres de forge sur le rôle très considérable qu'est appelée à jouer dans l'industrie de la fonte l'utilisation directe des gaz des hauts fourneaux dans les moteurs à explosions. Bien que cette question ait été exposée

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 147.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 27.

de main de maître dans ce journal par M. Aimé Witz (*Écl. Élect.*, du 18 mars 1899, t. XVIII, p. 401), nous profiterons de la publication que vient de faire le *Génie Civil* (t. XXXV, p. 277, 26 août 1899), sous la signature de M. Aug. Dutreux, d'un résumé de la conférence de M. E. Meyer, pour rappeler les difficultés que présentait cette utilisation, indiquer comment elles ont été aplanies et signaler les applications existantes.

La première difficulté était d'assurer une inflammation régulière des gaz dans les cylindres malgré le faible pouvoir calorifique de ces gaz (900 à 1000 calories par m³). Cette difficulté a été vaincue par une augmentation de la compression préalable qui, en élevant la température du gaz, permet l'inflammation de celui-ci quelle que faible que soit sa puissance calorifique. L'augmentation de la compression préalable a d'ailleurs en même temps l'avantage de diminuer la consommation de gaz par cheval indiqué.

La seconde était d'obtenir une puissance donnée sans être obligé d'employer des moteurs beaucoup plus grands que les moteurs à gaz d'éclairage. A la vérité cette difficulté n'était pas très importante. On sait en effet que dans les moteurs à gaz d'éclairage on mélange l'air et le gaz dans les proportions de 7 à 1, tandis que, dans les moteurs à gaz des hauts fourneaux, ce mélange se fait à volumes égaux. Par suite un cylindre ayant 8 m³ de capacité recevrait 1 m³ de gaz d'éclairage ou bien 4 m³ de gaz des hauts fourneaux. Donc, quoique la puissance calorifique de ce dernier gaz soit cinq fois plus faible que celle du gaz d'éclairage, le nombre total des calories disponibles dans le moteur au gaz des hauts fourneaux atteindrait cependant les quatre cinquièmes des calories contenues dans le cylindre du moteur au gaz d'éclairage. En fait, l'expérience a démontré l'exactitude de cette conclusion : un moteur développant 120 chevaux avec du gaz d'éclairage, développe environ 100 chevaux avec du gaz des hauts fourneaux.

D'un autre côté, on pouvait craindre que les variations de la composition et de la pression des gaz des hauts fourneaux ne permissent pas une marche régulière des moteurs. Mais les variations de la puissance calorifique des gaz des hauts fourneaux ne sont pas si considérables qu'on le craignait. Ainsi dans l'usine de Differdange (Grand-Duché de Luxembourg), M. Meyer a constaté que la valeur moyenne de la puissance calorifique était de 950 calories par m³ à 0° et à 760 mm et que les maximum et minimum ne s'écartaient pas de plus de 4 p. 100 de cette valeur moyenne. Quant aux variations de la pression du gaz il est facile d'y remédier par l'emploi d'une cloche placée entre les épurateurs et les moteurs. Mais, ici encore, les appréhensions étaient exagérées, car les ingénieurs d'Oberhausen et de Seraing ont constaté que leurs moteurs respectifs de 60 et de 180 chevaux marchaient tout aussi bien sans l'emploi de la cloche.

Reste le point qui avait donné lieu aux craintes les plus vives : l'effet des poussières entraînées par les gaz. Comme le faisait observer M. Witz, un moteur de 100 chevaux reçoit par vingt-quatre heures près de 25 kg de poussière impalpable qui ne peut être arrêtée par les épurateurs. On pouvait donc craindre l'obstruction des passages, l'immobilisation des soupapes, l'encombrement des espaces morts. Mais en réalité ces poussières n'ont pas les inconvénients qu'on redoutait car, grâce aux remous violents que produisent l'explosion et l'échappement, elles sont entraînées. On a pu même, à Differdange et à Seraing, faire fonctionner les moteurs avec des gaz n'ayant subi aucune épuration spéciale, autre que celle qu'on leur fait subir pour leur emploi au chauffage des chaudières.

Aussi M. Meyer conclut-il qu'il n'est pas plus difficile d'alimenter un moteur avec du gaz des hauts fournaux qu'avec du gaz d'éclairage ou du gaz de gazogène ; on a même l'avantage de pouvoir utiliser des compressions plus fortes sans risquer des inflammations spontanées, ce qui conduit à un meilleur rendement, comme l'ont montré des essais faits par M. Meyer, à Differdange, où il a été constaté que 30 p. 100 des calories disponibles peuvent être transformés en travail indiqué.

Les seules difficultés qui restent à vaincre sont celles inhérentes à la construction mécanique des grands moteurs dont on a besoin dans l'industrie métallurgique. Le moteur à quatre temps, à cylindre unique, ne se prête guère aux grandes puissances. En effet, il ne comporte qu'une seule course motrice par cycle de quatre courses et nécessite, par conséquent, de grandes dimensions du cylindre, et aussi un volant très lourd pour obtenir un degré d'uniformité suffisant. Or, la température d'explosion dépasse 1500° et le cylindre a besoin d'être refroidi ; mais plus le cylindre est grand, plus il devient difficile d'agir sur la température des gaz qui sont au centre. Cependant l'usine de Deutz construit actuellement des cylindres développant 250 chevaux et, en les groupant par séries de quatre

autour du même arbre, on obtient une course motrice pour chaque demi-tour de l'arbre; John Cockerill, à Seraing, construit aussi des moteurs à quatre temps à un cylindre de 500 chevaux, ce cylindre ayant 1300 mm de diamètre et 1400 mm de course.

Le moteur à deux temps donnant une puissance sensiblement double de celle que donnerait un moteur de mêmes dimensions travaillant suivant le cycle à quatre temps, paraît préférable. Le premier grand moteur ayant fonctionné dans une usine métallurgique, celui établi à Hoerde, de 600 chevaux, est à deux temps. Les frères Koerting construisent en ce moment un moteur de 500 chevaux qui fonctionnera suivant le cycle à deux temps sur les deux faces du piston, c'est-à-dire qu'il y aura une course motrice pour chaque course du piston, tout comme dans les machines à vapeur. Le rendement des moteurs à deux temps étant sensiblement le même que celui des moteurs à quatre temps, l'expérience seule des deux systèmes pourra décider lequel est définitivement le plus avantageux.

Quant aux applications, elles sont encore peu développées. Mais comme dans aucune des installations existantes on n'a eu à constater d'échec, toutes les usines ayant fait des essais avec de petits moteurs se sont décidées à commander des installations très importantes. Au moment de la conférence de M. Meyer il y avait en Allemagne 8 moteurs en service journalier, développant ensemble 1770 chevaux. Les commandes connues portaient sur 25 moteurs d'une puissance totale de 12740 chevaux.

Essais de cuirs tannés électriquement. — On connaît aujourd'hui de nombreux procédés, chimiques ou électriques, permettant de réduire très notablement le temps considérable qu'exige le vieux procédé de tannage. Mais si la durée de l'opération est réduite il semble aussi que la qualité du cuir obtenu se trouve diminuée dans de notables proportions. D'après les rapports du professeur Unwin et du docteur Gordon-Parker, que publie *Industries and Iron* dans son numéro du 4 août, le procédé électrique Groth, employé depuis deux ans en Suède, à Wenersborg, par la Wenersborg Leather Industry Company, n'aurait pas cet inconvénient et donnerait au contraire des cuirs propres à la fabrication des courroies supérieurs à ceux des meilleures marques employés jusqu'ici dans cette fabrication.

Les essais faits par le professeur Unwin ont porté sur la résistance à la rupture et sur l'allongement. Les échantillons employés avaient une épaisseur de 6 mm environ et une largeur de 7 à 8 cm. La charge nécessaire à leur rupture était d'environ 430 kg par cm², charge un peu supérieure à la charge de rupture d'autres échantillons de cuirs de mêmes dimensions et tannés par le procédé ordinaire. Les essais d'allongement ont montré que l'allongement des bandes de cuirs Groth est sensiblement proportionnel à la charge tandis que celui des cuirs à courroies des meilleures marques croît tout d'abord plus rapidement que ne l'indique la loi de proportionnalité; de plus l'allongement pour une même charge est moins grand avec les cuirs Groth qu'avec les autres.

Les essais du docteur Gordon-Parker ont porté sur divers échantillons de cuirs tannés les uns par le procédé ordinaire, d'autres par le procédé Groth, d'autres enfin partie par le procédé ordinaire et partie par le procédé Groth. Le tannage avait été effectué par l'expérimentateur lui-même; les morceaux de peau soumis au tannage étaient aussi identiques que possible. Les essais ont montré que si l'on prend pour unité la résistance à la rupture des peaux tannées par le procédé ordinaire, celle des peaux tannées partiellement par le procédé Groth est de 1,18, et celle des peaux tannées entièrement par ce dernier procédé de 1,28.

Ajoutons que le procédé Groth n'exige que cinq semaines et qu'en outre il procure une économie de 30 p. 100 sur le procédé ordinaire.

Le Gérant : C. NAUD.

période correspondant à la forte charge de l'usine électrique. Avec une allure de grille de 154 kg de charbon par m² et par heure on a maintenu facilement pendant la première heure 331,2 kilowatts, pendant la deuxième 340,2 kilowatts, la chaudière prise à la pression de 9 kg, se trouvant à 9,5 kg à la fin de l'essai, en alimentant normalement pendant la marche et la pression moyenne de la vapeur ayant été de 9,48 kg pendant l'essai. Les nouvelles chaudières à émulseur de 213 m² peuvent donc être chargées à 350 kilowatts chacune, pendant la période des fortes charges qui est moindre que 2 heures, alors que les anciennes chaudières de 300 m² d'après les renseignements donnés par le directeur de l'usine ne peuvent être chargées à plus de 220 kilowatts pendant une heure, et à la condition de partir très haut en eau, à 11 kg de pression, alimenter très peu pour finir bas en eau et à 8 kg de pression.

Il y a lieu de remarquer que les résultats qui précèdent doivent être en partie attribués à la surchauffe de la vapeur. Il est difficile de séparer dans l'économie constatée de environ 4 kg de vapeur par kilowatt-heure la part qui revient à la surchauffe et celle qui revient à la meilleure qualité de la vapeur fournie par l'appareil émulseur. Quoiqu'il paraisse aujourd'hui hors de doute que l'appareil Dubiau donne de la vapeur de meilleure qualité que celle fournie par les chaudières ordinaires, il n'y a pas de données suffisantes pour faire le partage de l'économie de vapeur entre les deux appareils.

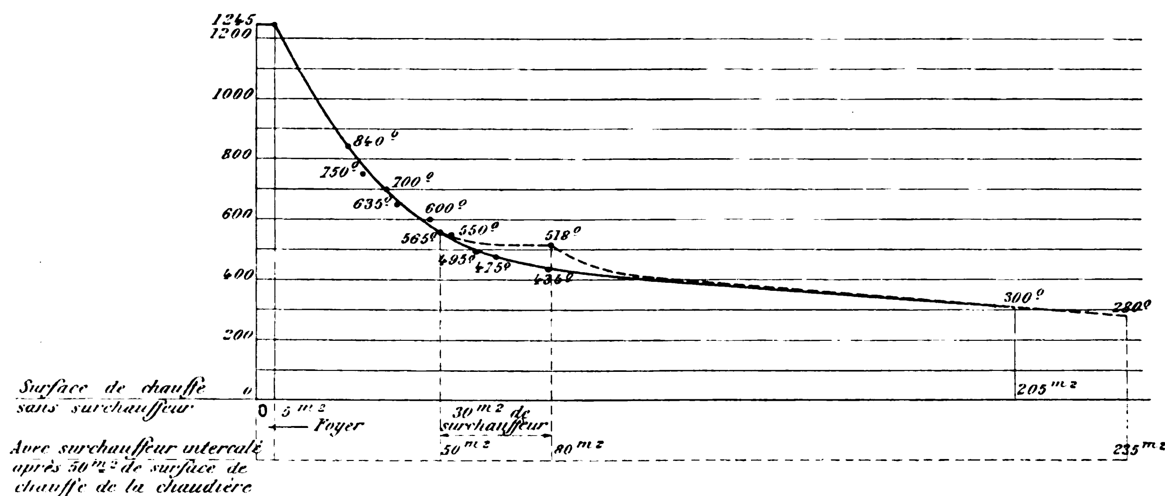


Fig. 3. — Courbes des températures d'un générateur Babcock et Wilcox avec et sans surchauffeur.

Mais en faisant abstraction de cette source d'économie, les chiffres de la vaporisation montrent l'influence directe sur ce type de chaudière de la circulation continue et régulière. A vrai dire le surchauffeur a une influence sur la production et le rendement de la chaudière, en ce sens que placée sur le parcours des gaz entre deux parties de la surface de chauffe totale, celle de ces parties qui fait suite au surchauffeur est léchée par des gaz qui y amènent une moindre quantité de chaleur. En fait la quantité de chaleur absorbée par le surchauffeur est absorbée en moins par la surface de chauffe de la chaudière. La courbe de la figure 2 établie d'après des relevés de la pratique montre clairement le phénomène auquel nous faisons allusion.

Pour une température initiale de 1 245° dans les foyers, la courbe des températures tombe à 560° après que les gaz ont léché les premiers 50 m² de surface de chauffe, et à 300° après avoir parcouru toute la surface de chauffe. Si après le parcours des 50 premiers mètres carrés de chauffe, nous intercalons 30 m² de surchauffeur, la courbe baisse

moins vite puisque l'absorption de la chaleur par des surfaces en contact avec la vapeur est moins rapide qu'avec des surfaces baignées par l'eau. Les gaz attaqueront la deuxième partie de la surface de chauffe avec une température de 520° environ au lieu de 560° du premier cas. La température finale variera fort peu dans les deux cas puisque lorsque l'écart de la température entre les gaz et la surface de chauffe est moindre que 150° la transmission est presque nulle.

On voit par ce qui précède qu'en comparant les vaporisations telles qu'elles ont été relevées aux essais I et II (et sans tenir compte du surchauffeur) à celle de l'essai III on n'avantage pas la chaudière avec émulseur.

Pour faire cette comparaison il est nécessaire de ramener les vaporisations à une même température de vapeur et d'eau d'alimentation, et à un combustible de même pouvoir calorifique. Nous obtiendrons ainsi les chiffres suivants qui permettent la comparaison directe ;

Eau à 0° vaporisée à 100° par kilogramme de charbon ayant 5 610 calories :

Essai I	Essai II	Essai III
6,24	6,20	5,32

En comparant les résultats des essais I et III, nous voyons que pour la même allure de grille la chaudière Babcock et Wilcox ordinaire a produit 11,8 kg de vapeur par m² de surface de chauffe et par heure avec un rendement de 5,32 kg d'eau vaporisée par kg de charbon, et la chaudière Babcock et Wilcox avec émulseur Dubiau a vaporisé 17,6 kg d'eau par m² de surface de chauffe et par heure avec un rendement de 6,24 pour le même charbon, soit en éliminant le surchauffeur un accroissement de production de 49 p. 100 et une amélioration de rendement de 17 p. 100 exclusivement dus à l'appareil de circulation.

Si l'on compare le chiffre du rendement des essais I et II en eau prise à 0°, et vaporisée à 100°, et en combustible de même pouvoir calorifique, nous voyons que l'allure de la chaudière peut varier de 50 p. 100, sans que son rendement s'en trouve influencé. Elle est aussi économique pendant le service de la forte charge que pendant les heures de faible débit de l'usine. C'est un résultat fort important, car nous savons que, dans les exploitations électriques, on sacrifie généralement le rendement à la puissance, pendant la durée de la grande production.

Ces essais officiels et ceux, plus nombreux mais non officiels, faits dans diverses stations munies de chaudières multitubulaires avec émulseurs Dubiau, montrent bien que l'émulseur Dubiau est de nature à rendre des services importants à l'industrie et constitue un très grand progrès pour l'économie de la production et de l'emploi de la vapeur. Il y avait donc intérêt à attirer l'attention des ingénieurs électriciens sur les installations de Vienne.

T. Pausert.

ÉTUDE SUR LA TRANSMISSION ET LA DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE
PAR LES COURANTS ALTERNATIFS [1]

CINQUIÈME PARTIE
TRANSFORMATEURS REDRESSEURS

V. — De la commutation dans les transformateurs-redresseurs a courants polyphasés (*Suite*).

III. Particularités que présentent les phénomènes de commutation dans ces appareils. — Nous avons vu que la commutation se ferait de la même manière que dans une machine à courant continu bipolaire dans laquelle l'intensité du champ, suivant un rayon, varierait de part et d'autre de la ligne neutre proportionnellement au sinus de l'angle que ferait ce rayon avec cette ligne et dont les diverses sections auraient un coefficient de self-induction $\frac{3}{2}\left[\lambda + (Z)^2 \frac{\Lambda}{4k^2}\right]$ et une résistance r.

Il en résulte, en apparence, certaines difficultés. A l'encontre de ce qui se passe dans les machines à courant continu ordinaires dont les épanouissements polaires ne se rejoignent pas et sur les collecteurs desquelles on peut trouver, de part et d'autre de la ligne neutre, une région étendue où les différences de potentiel, entre deux touches consécutives, sont d'abord nulles, puis croissent très lentement, ces différences de potentiel ne seront jamais nulles et varieront très rapidement de part et d'autre de la ligne neutre.

En premier lieu, il ne sera jamais possible de caler les balais de telle manière que la force électromotrice développée dans une section mise en court-circuit soit constamment nulle. En second lieu, si la machine avait une réaction d'induit considérable, les déplacements de la ligne neutre, qui seraient alors très sensibles, amèneraient de grandes variations dans la force électromotrice développée dans les sections mises en court-circuit. Il faudrait donc faire varier à chaque instant le calage des balais avec le débit de l'appareil.

Lorsque le débit de l'appareil sera nul ou du moins très petit, et que les balais seront calés de manière qu'il n'y ait aucune étincelle, la force électromotrice développée dans les sections mises en court-circuit n'aura pu agir toujours dans le même sens, sans quoi le courant aurait acquis une valeur notable dans la section, à la fin de la mise en court-circuit, et sa rupture déterminerait des étincelles.

Il faut donc que cette force électromotrice ait changé de signe en s'annulant pendant la durée de la mise en court-circuit. Au commencement, elle tendra à y engendrer un courant ou à augmenter l'intensité de celui qui préexiste ; après avoir changé de signe, elle annulera ce courant ou le ramènera à une grandeur égale et de signe contraire à sa valeur primitive.

Il y aura ainsi production d'un courant parasite dit *courant sous balais*, ce qui déterminera une perte d'énergie et l'échauffement du collecteur.

Ces deux difficultés ne sont heureusement qu'apparentes. En effet : 1° nous avons vérifié expérimentalement que l'échauffement du collecteur dû au passage du courant sous balais était négligeable, lorsque l'arc recouvert sur le collecteur par les balais était inférieur à $\frac{1}{12}$ de celui compris entre les milieux des points de contact de deux paires de balais consécutives ; 2° nous alimenterons avec des courants fournis par les circuits

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 16 septembre, p. 404.

secondaires du transformateur-redresseur lui-même le moteur synchrone qui déterminera le mouvement de rotation des balais ou du collecteur. La phase du mouvement de ce moteur se réglera donc d'après celle des variations de voltage aux bornes des circuits secondaires et non d'après celle du mouvement des génératrices. Dans ces conditions, les balais se caleront automatiquement par rapport au collecteur, de manière que la force électromotrice développée dans les sections mises en court-circuit soit constante.

Le décalage que devront subir les balais avec les variations de charge sera donc indépendant de la réaction d'induit des génératrices et des fuites du transformateur; il ne dépendra que du rapport du coefficient de self-induction de chaque section à sa résistance apparente et, par suite, sera d'autant plus faible que le sectionnement de l'appareil sera poussé plus loin. Il est facile de faire en sorte que ce décalage soit aussi déterminé automatiquement.

Dans ce but, l'inducteur du moteur synchrone sera disposé en forme d'anneau,

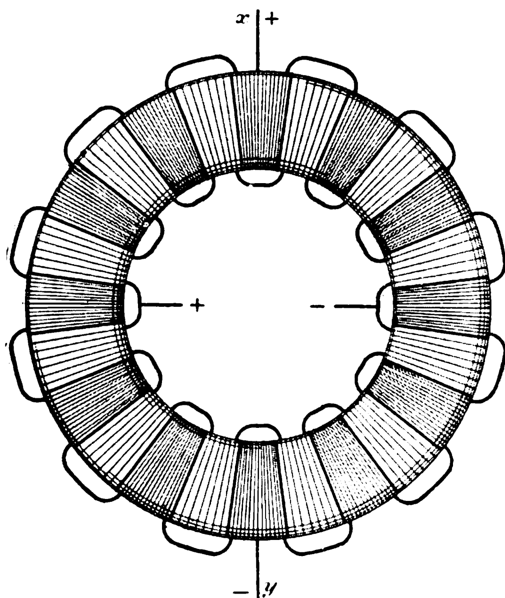


Fig. 57.

comme il est représenté sur la figure 57, dans le cas d'une machine bipolaire. L'anneau porte deux séries de bobines alternées, les unes en fil fin, les autres en gros fil, distinguées par des hachures différentes sur la figure.

Les bobines en fil sont groupées entre elles de manière à développer à la surface de l'anneau deux pôles + et — aux extrémités de la ligne xy. Elles constituent un circuit que l'on montera en dérivation entre les balais du collecteur. Les bobines à gros fil sont groupées de manière à développer deux pôles suivant une direction perpendiculaire à la direction xy. On y fait passer, sinon la totalité du courant recueilli entre les balais, du moins un courant dont l'intensité lui sera proportionnelle, en branchant ce deuxième circuit entre les extrémités d'une résistance intercalée dans le conducteur principal.

Nous développerons ainsi deux flux perpendiculaires, dont l'un, $O\varphi_1$ (fig. 58), sera

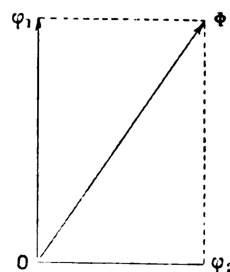


Fig. 58.

constant, et l'autre, $O\varphi_2$, sera proportionnel au débit de l'appareil.

On voit immédiatement que la direction de la résultante $O\Phi$ variera avec le débit. Le mouvement du moteur prendra ainsi une avance ou un retard sensiblement proportionnel au débit. Nous avons constaté expérimentalement qu'on arrivait de cette manière à rendre complètement automatique le calage des balais.

IV. Exemple de réalisation. — Nous allons donner comme exemple un transformateur d'un système mixte. Nous espérons montrer ainsi combien il est facile, en s'appuyant sur les principes exposés ci-dessus, de réaliser

des appareils comportant un grand nombre de circuits secondaires et dans lesquels les fuites magnétiques soient très réduites, bien que leur construction demeure des plus simples et que les poids de matières actives (fer et cuivre) entrant dans leur composition, rapportés à l'unité de puissance, soient à peine supérieurs à ceux des transformateurs ordinaires.

Transformateur-redresseur de 300 *kilowatts. Courants primaires triphasés, tension simple* 4 000 *volts, fréquence* 50. — Le courant secondaire continu, débité sous le voltage de 500 volts, doit servir à l'alimentation d'un réseau de tramway.

1° *Considérations préliminaires.* — Le débit de l'appareil devant varier constamment et par à-coups, par suite du service spécial auquel il est destiné, il est nécessaire que le calage des balais du redresseur n'ait pas à être modifié lorsque le débit de l'appareil varie de o à sa valeur maximum.

Il faut donc que la commutation puisse être assurée sans qu'aucune force électromotrice ne soit développée dans les circuits fermés sur eux-mêmes, autre que celles dues aux différences de densité du courant sous un même balai du redresseur.

Ces forces électromotrices doivent être très petites si l'on veut non seulement qu'il n'y ait pas d'étincelles, mais aussi que le collecteur et les balais ne chauffent pas.

Cela nous conduit à diviser en un grand nombre de sections le circuit secondaire du transformateur. Nous ferons leur nombre égal à 60.

Supposons que la génératrice à courants triphasés ait d'abord été transformée en machine à courants de 60 phases régulièrement décalés les uns par rapport aux autres, les dimensions de sa carcasse et le poids de cuivre de son armature étant demeurés les mêmes, puis en machine à courant continu supposons enfin que l'on ait alors groupé les différentes spires de son armature de manière qu'il y ait une tension de 500 volts développée entre les balais.

Nous savons que la commutation des courants secondaires que fournira le transformateur-redresseur se fera comme celle que fournirait la machine précédente dont les diverses sections de l'armature auraient en leur coefficient de self-induction augmenté du coefficient de self-induction correspondant aux fuites de chacun des circuits secondaires du transformateur.

Nous ne connaissons pas les génératrices qui desserviront l'appareil que nous nous proposons d'étudier et nous ne savons pas si la commutation des courants qu'elles fourniraient, après avoir été transformées comme nous l'avons dit tout à l'heure, s'opérerait facilement. Mais tous les alternateurs ayant un grand nombre de pôles ont forcément des armatures à faible réaction d'induit : il est donc probable que le nombre de 60 divisions que nous avons choisi sera suffisamment élevé.

Dans le cas où il ne le serait pas, nous aurions toujours la ressource de couper par des entrefers les noyaux magnétiques de nos transformateurs.

Cette faculté que nous avons de diminuer artificiellement la réaction d'induit de la génératrice dont nous devons commuter les courants, après leur avoir fait subir diverses transformations, nous permet de réaliser notre transformateur-redresseur en toute sécurité, bien que nous ne connaissions pas la génératrice qui le desservira, car il sera toujours facile, en effet, de couper ses circuits magnétiques par des entrefers, si la nécessité s'en manifestait.

Nous devons simplement nous efforcer de réaliser des transformateurs dont les circuits secondaires aient des coefficients de fuites aussi réduits que possible.

2° *Dispositions générales.* — Si nous donnions à l'appareil trois noyaux magnétiques et trois circuits primaires seulement, il faudrait faire réagir chaque circuit primaire sur

...

les 60 bobines secondaires qui entoureraient le même noyau magnétique. Pour éviter la production de fuites magnétiques très préjudiciables, il faudrait que ces 60 bobines eussent leurs spires mélangées les unes aux autres de manière qu'on pût considérer ces bobines comme confondues.

Ce résultat, facile à obtenir lorsque les circuits secondaires sont peu nombreux, ne le serait pas dans le cas actuel. Cela nous a conduits à la disposition suivante :

1° Les bobines des circuits secondaires sont simplement juxtaposées, mais à chacune d'elles correspondra un circuit primaire

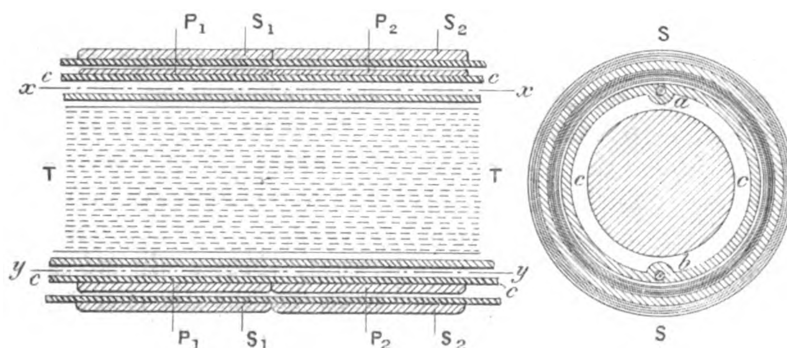


Fig. 59.

spécial, comme il est représenté sur la figure 59.

Autour d'un noyau magnétique TT est disposée une carcasse en matière isolante *cc*, munie de deux appendices *a* et *b*. Ceux-ci constituent deux tubes en matière isolante dont les parois sont reliées, sans solution de continuité, à celles de la carcasse *cc*. Dans ces tubes sont logés deux conducteurs *xx* et *yy*, qui serviront à amener et ramener les courants qui doivent traverser les circuits primaires.

Deux circuits primaires consécutifs P_1 et P_2 sont représentés sur la figure 59. Les circuits

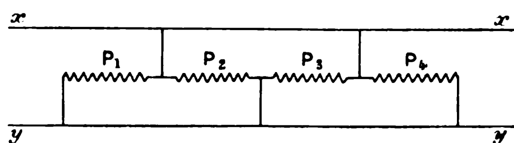


Fig. 60.

de rangs impairs sont enroulés dans un sens et ceux de rangs pairs dans l'autre sens. Cela nous permet de les brancher sur les conducteurs *xx* et *yy*, comme il est représenté sur la figure 60. De cette manière, les points d'entrée et de sortie des courants seront toujours éloignés l'un de l'autre, et la multiplication des circuits primaires n'entraînera aucune difficulté spéciale d'isolation et n'occasionnera aucune perte de place.

Grâce aux changements des sens d'enroulements, les flux développés dans le noyau TT par ces divers circuits primaires seront tous de même sens.

Nous donnerons à tous ces circuits les mêmes nombres de spires, mais dont les sections seront différentes quand on passera d'un circuit primaire à un autre, car tous ces circuits ne seront pas parcourus par des courants de même intensité. Ces circuits, ayant les mêmes nombres de spires, engendreront tous des flux de même intensité : il n'y aura pas de point conséquent développé à la surface du noyau magnétique, et les choses se passeront comme si ce noyau était soumis à l'action d'un circuit primaire unique.

Nous superposerons à chacun des circuits primaires P ainsi constitués la bobine secondaire S qu'il devra exciter.

Dans ces conditions, les diverses bobines secondaires S pourront être impunément parcourues par des courants d'intensités différentes, chacun des circuits primaires développant un nombre d'ampères-tours très

sensiblement égal et de signe contraire à celui développé par la bobine secondaire qui lui est superposée.

En réalité, en juxtaposant n bobines secondaires et n circuits primaires, le long d'un même noyau, nous avons constitué n transformateurs distincts et avons seulement profité de ce que ces n transformateurs devaient être le siège des mêmes flux pour économiser les culasses qui auraient dû accompagner chacun de ces transformateurs.

2° Les bobines des circuits secondaires seront constituées de la manière suivante :

Supposons qu'il s'agisse de faire une bobine de trois spires superposées ; désignons par l_1, l_2, l_3 les longueurs des première, deuxième

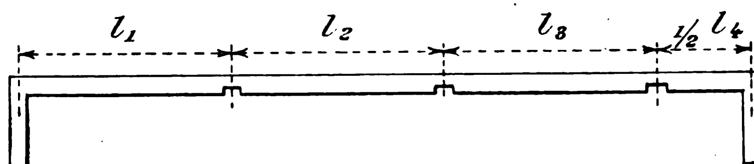


Fig. 61.

et troisième spires, et par l_4 celle qu'aurait un quatrième spire superposée aux trois autres.

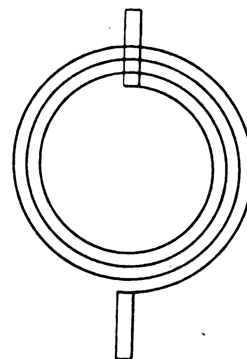
Nous prendrons une bande de cuivre ayant une hauteur et une épaisseur convenables et lui donnerons la longueur indiquée sur la figure 61, après l'avoir munie à ses deux extrémités de prolongements faisant un angle droit avec sa direction.

On pratiquera dans cette bande trois entailles, comme il est représenté sur la figure 61. Ces entailles devront avoir les dimensions voulues pour qu'une pièce ayant le même équarrissage que les prolongements normaux de la barre puisse les traverser après avoir été recouverte d'un isolant d'épaisseur suffisante. Cela fait on recouvrira la bande de cuivre d'un ruban de coton, puis on l'enroulera sur elle-même, comme il est représenté sur la figure 62. Un cerclage extérieur en toile l'empêchera de se dérouler.

Enfin, on repliera d'équerre les deux prolongements normaux. Celui qui aboutira au commencement de la première spire intérieure passera dans le canal formé par les diverses entailles qui seront venues se superposer.

La bobine ainsi constituée formera une galette plate munie de deux appendices diamétralement opposés qui serviront de point d'entrée et de sortie au courant, comme il est représenté sur la figure 63.

Nous verrons plus loin que notre appareil comportera des bobines de 1 spire, 2 spires, 3 spires et 4 spires. Nous n'aurons donc à


Fig. 62.

constituer que quatre types de bobines. Si le courant qui les traverse doit tourner dans un sens ou dans l'autre autour du noyau magnétique, nous le ferons entrer par la spire intérieure ou par la spire extérieure.


Fig. 63.

Les trois noyaux du transformateur seront disposés en triangle. Dans ces conditions, on constituera un circuit secondaire de la manière la plus simple en disposant dans un même plan horizontal les trois bobines qui doivent le composer et en reliant leurs points

d'entrée et de sortie, comme il est schématiquement représenté sur la figure 64.

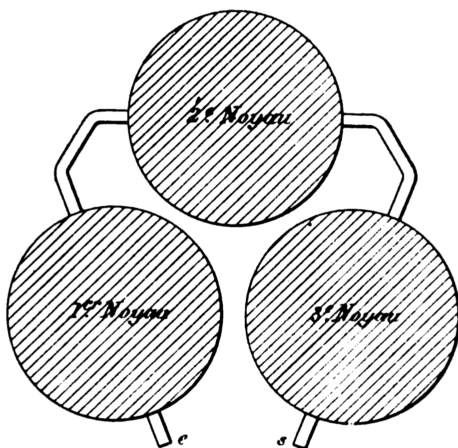


Fig. 64.

Les extrémités *e* et *s* demeureront libres et serviront de points d'entrée et de sortie au circuit secondaire considéré.

Les extrémités de tous les circuits secondaires devront être disposées sur une même face du transformateur, de manière à faciliter les connexions de ces divers circuits. Le point de sortie de chacun d'eux devra être relié au point d'entrée de celui qui le suivra et à l'une des prises de courant de l'appareil.

Si l'on numérote 1, 2, 3, ..., 30, 31, ..., 60 les circuits consécutifs de l'appareil, on peut remarquer que les circuits 1 et 31 devront être constitués de la même manière, sauf que des courants de même direction devront tourner dans un sens dans le premier circuit et dans l'autre dans le second circuit. Ces deux circuits seront toujours parcourus par des courants de directions opposées : ils développeront donc les mêmes nombres d'ampères-tours autour des trois noyaux. Il est logique, dans ces conditions, de juxtaposer leurs bobines et de faire réagir sur elles les mêmes circuits primaires. En faisant de même pour les circuits 2-32, 3-33, nous n'aurons besoin que de 30 circuits primaires par noyau, au lieu de 60.

Les prises de courant sur le transformateur se succéderont sur une même planchette dans l'ordre représenté sur la figure 65. Cette disposition présentera l'avantage que chaque barre de connexion de l'appareil et chacun des conducteurs allant de l'appareil au redresseur se trouveront juxtaposés à une barre

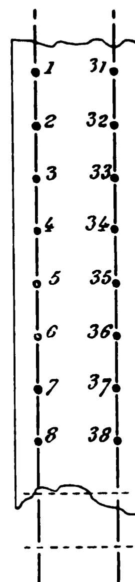


Fig. 65.

de connexion ou à un conducteur toujours parcourus par un courant d'intensité égale et de signe contraire à celle de son propre courant.

Dans ces conditions, il n'y aura aucun accroissement appréciable de l'impédance des circuits secondaires occasionné par la présence de ces barres de connexion ou de ces conducteurs.

3° *Détermination des nombres de spires des circuits secondaires.* — En désignant par ν une constante, les nombres de spires des bobines secondaires qui entoureront un même noyau seront égaux à :

$$n_1 = \nu \sin 0, \quad n_2 = \nu \sin \frac{\pi}{30}, \quad n_3 = \nu \sin \frac{2\pi}{30} \ldots, \quad n_n = \nu \sin \frac{29\pi}{30}.$$

Le nombre maximum N de spires que comportera autour de chacun des noyaux le

circuit secondaire aboutissant aux balais du redresseur sera égal à

$$N = \frac{\nu}{\sin \frac{\pi}{60}}.$$

Si nous désignons par H la force électromotrice maximum développée dans toute spire entourant l'un des noyaux, nous savons que la force électromotrice développée entre les balais est égale à $\frac{3}{2}$NH; d'où, dans le cas actuel, en supposant que le voltage subisse une chute de 4 p. 100 lorsque le débit varie entre 0 et son maximum,

$$\frac{3}{2}\frac{\nu H}{\sin \frac{\pi}{60}} = 520$$

Dans les appareils de ce système qui ont été déjà exécutés, l'étude de leur dimension nous conduit à faire H = 4,5 environ. Conservons cette valeur; l'équation précédente nous donne

$$\nu = 4.$$

Une bobine ne pouvant comporter qu'un nombre entier de spires, nous remplacerons les nombres

$$n_1 = \nu \sin 0, \qquad n_2 = \nu \sin \frac{\pi}{30}, \qquad \ldots$$

par les nombres entiers plus grands ou plus petits qui s'en rapprocheront le plus. Nous arriverons ainsi aux nombres portés dans le tableau de la colonne suivante.

Le circuit branché entre les touches nos 31 et 32 sera composé comme le circuit branché entre les touches 1 et 2, sauf que les signes accompagnant les nombres de spires seront changés. De même le circuit branché entre les touches 32 et 33 sera composé comme le circuit branché entre les touches 2 et 3, ...

Il sera convenu que, dans toutes les bobines dont le nombre de spires sera affecté du signe +, un courant de direction positive entrera par la première spire intérieure, par exemple, et qu'il entrera par la première

Tableau I. — *Composition des 30 premiers circuits secondaires.*

NUMÉROS des touches du collecteur entre lesquelles est branché le circuit considéré.	NOMBRE DE SPIRES de ce circuit autour du premier noyau.	deuxième noyau.	troisième noyau.
1-2	0	3	— 3
2-3	0	3	— 4
3-4	1	3	— 4
4-5	1	3	— 4
5-6	2	2	— 4
6-7	2	2	— 4
7-8	2	2	— 4
8-9	3	1	— 4
9-10	3	1	— 4
10-11	3	0	— 4
11-12	3	0	— 3
12-13	4	0	— 3
13-14	4	— 1	— 3
14-15	4	— 1	— 3
15-16	4	— 2	— 2
16-17	4	— 2	— 2
17-18	4	— 2	— 2
18-19	4	— 3	— 1
19-20	4	— 3	— 1
20-21	4	— 3	0
21-22	3	— 3	0
22-23	3	— 4	0
23-24	3	— 4	1
24-25	3	— 4	1
25-26	2	— 4	2
26-27	2	— 4	2
27-28	2	— 4	2
28-29	1	— 4	3
29-30	1	— 4	3
30-31	0	— 4	3

spire extérieure dans toutes les bobines dont le nombre de spires sera affecté du signe —.

4° *Forces électromotrices développées dans l'appareil.* — La loi de variation des nombres de spires de nos diverses bobines secondaires ne se rapproche pas assez de la loi sinusoïdale théorique pour que nous puissions prendre, pour valeurs des forces électromotrices développées dans les divers circuits de l'appareil, celles que nous donnerait le calcul, dans le cas où la loi de variation des nombres de spires serait parfaitement sinusoïdale.

C'est pourquoi il convient de déterminer directement comment variera la somme des spires autour de chacun des noyaux du circuit secondaire compris entre les balais, lorsque ceux-ci se déplaceront par rapport au collecteur. Nous devrons noter en même temps le nombre de spires autour de chaque noyau du circuit secondaire que les balais formeront sur lui-même, en s'appuyant sur deux touches consécutives du collecteur.

Si nous savons quelle est la loi de variation de la tension aux bornes de chaque circuit, nous connaitrons la loi de variation de la force électromotrice dans chaque spire entourant l'un des noyaux. Il sera facile alors de calculer les forces électromotrices développées à chaque instant dans les divers circuits de l'appareil.

Les nombres des deux dernières colonnes du tableau ci-contre se reproduisant périodiquement, il est inutile de le compléter.

Tableau II. — *Forces électromotrices développées entre les balais du redresseur et dans les circuits fermés sur eux-mêmes par les balais, lorsque ces derniers se déplacent synchroniquement par rapport au collecteur, en supposant que la force électromotrice maxima développée dans chaque spire entourant l'un des noyaux soit égale à 1 volt et qu'elle varie, en fonction du temps, suivant une loi sinusoïdale.*

NUMÉROS de deux touches consécutives du collecteur sur lesquelles s'appuie l'un des balais.	FORCES ÉLECTROMOTRICES développées dans chaque spire entourant le			NOMBRE DE SPIRES en circuit autour du			NOMBRE DE SPIRES en court-circuit autour du			FORCE électromotrice développée entre les balais du collecteur.	FORCE électromotrice développée dans les circuits fermés sur eux-mêmes.
	premier noyau.	deuxième noyau.	troisième noyau.	premier noyau.	deuxième noyau.	troisième noyau.	premier noyau.	deuxième noyau.	troisième noyau.		
1-2. . . .	1	—0,500	—0,500	76	— 39	— 39	0	3	— 3	115	0
2-3. . . .	0.994	—0,598	—0,407	76	— 45	— 32	0	3	— 4	115.03	— 0,014
3-4. . . .	0,978	—0,669	—0,309	75	— 51	— 24	1	3	— 4	114.9	+ 0.207
4-5. . . .	0,951	—0,743	—0,208	73	— 57	— 16	1	3	— 4	115.1	— 0.446
5-6. . . .	0.914	—0,809	—0,105	70	— 62	— 8	2	2	— 4	114,98	+ 0.630
6-7. . . .	0.866	—0,866	0	66	— 66	0	2	2	— 4	114.31	0
7-8. . . .	0.809	—0,914	0,105	62	— 70	8	2	2	— 4	114.98	— 0.630
8-9. . . .	0.743	—0,951	0,208	57	— 73	16	3	1	— 4	115,1	+ 0.446
9-10 . . .	0.669	—0,978	2,309	51	— 75	24	3	1	— 4	114.9	— 0.207
10-11 . . .	0.588	—0,994	0,407	45	— 76	32	3	0	— 4	115.03	+ 0,014
11-12 . . .	0.500	— 1	0.500	39	— 76	39	3	0	— 3	115	0
12-13 . . .	0.407	—0.994	0.588	32	— 76	45	4	0	— 3	115.03	— 0.014
13-14 . . .	0.309	—0,978	0.669	24	— 75	51	4	— 1	— 3	114.9	— 0.207
14-15 . . .	0.208	—0,951	0,743	16	— 73	57	4	— 1	— 3	115.1	— 0.446
15-16 . . .	0,105	—0.914	0.809	18	— 70	62	4	— 2	— 2	114.98	+ 0.630

5° *Correcteurs.* — La constante de la force électromotrice développée entre les balais du redresseur est très suffisamment assurée, mais il n'en est pas de même de celle développée dans les circuits fermés sur eux-mêmes et qui devrait toujours être nulle. Cela tient à ce que la loi de variation des nombres de spires des circuits secondaires n'est pas rigoureusement sinusoïdale.

Comme cela aurait pour effet de rendre la commutation difficile, nous aurons recours à la disposition suivante, qui nous permettra de rendre constamment nulle la force électromotrice développée dans les circuits fermés sur eux-mêmes.

Nous intercalerons dans les conducteurs qui relieront les prises de courant du transformateur à celles du redresseur les circuits secondaires de petits transformateurs, que nous appellerons *correcteurs*. Ces circuits

sont représentés par des traits renforcés sur la figure 66. A chaque instant, la somme des forces électromotrices développées dans les deux circuits secondaires de ces correcteurs, qui feront partie du circuit secondaire fermé sur lui-même du grand transformateur, devra être égale et de signe contraire à la force

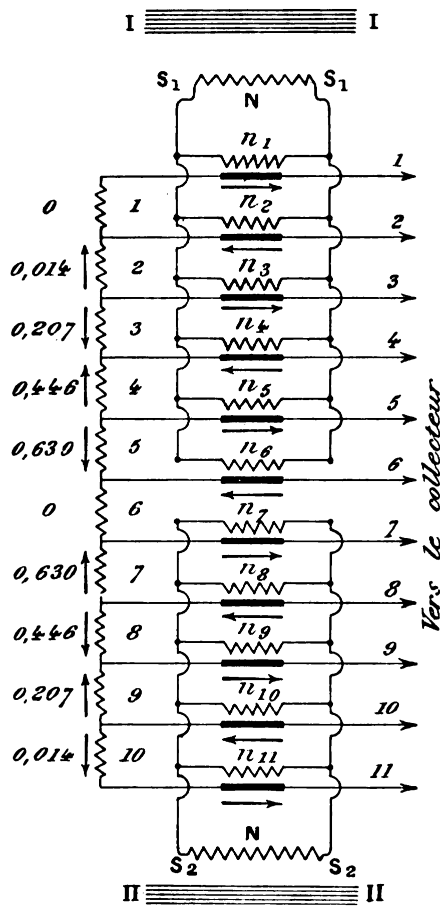


Fig. 66.

électromotrice développée dans ce dernier circuit.

Nous obtiendrons ce résultat de la manière suivante. Considérons les dix premiers circuits secondaires du grand transformateur branchés entre les touches 1-2, 2-3, ..., 10-11 du collecteur. Ces circuits sont numérotés 1, 2, 3,..., 10 sur la figure 66. Nous avons porté à côté de ces chiffres d'autres nombres qui indiquent la grandeur de la force électromotrice développée dans chacun de ces circuits, pendant qu'il est fermé sur lui-même, et des flèches qui indiquent la direction de cette force électromotrice.

Autour de chacun. des deux premiers noyaux magnétiques du grand transformateur, nous disposerons des circuits S_1, S_2 de N spires. Les circuits primaires des six premiers correcteurs seront branchés en dérivation entre les extrémités du circuit S_1. Les circuits primaires des cinq derniers correcteurs seront branchés en dérivation entre les extrémités du circuit S_2.

Nous appellerons n_1, n_2, ..., n_{11} les nombres de spires des circuits primaires des correcteurs et nous supposerons que les uns soient enroulés à droite et les autres à gauche. Ceux qui auront été enroulés à droite sont accompagnés, sur la figure, de flèches ayant une direction et ceux qui auront été enroulés à gauche, de flèches ayant la direction opposée.

Nous supposerons provisoirement que tous les circuits secondaires des correcteurs n'aient qu'une spire.

Lorsque le premier circuit secondaire du grand transformateur est fermé sur lui-même, nous voyons, en consultant le tableau II, que la force électromotrice développée dans ce circuit est nulle et que celle développée dans le circuit S_1 est égale à N.

La force électromotrice développée dans le circuit secondaire du premier correcteur est égale à $\frac{N}{n_1}$. Celle développée dans le circuit secondaire du second correcteur est égale à $\frac{N}{n_2}$. On doit donc avoir la relation

$$N\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right)=0.$$

On aura de même pour les autres circuits secondaires, en tenant compte des sens d'enroulement :

Pour le 2e . . $0{,}994\ N\left(-\frac{1}{n_1}-\frac{1}{n_3}\right)=-0{,}014$

» 3e . . $0{,}978\ N\left(\frac{1}{n_3}+\frac{1}{n_4}\right)=-0{,}207$

» 4e . . $0{,}951\ N\left(-\frac{1}{n_4}-\frac{1}{n_5}\right)=-0{,}446$.

$$\text{»}\quad 5^e \ldots \quad 0{,}914\, N\left(\frac{1}{n_5}+\frac{1}{n_6}\right)= \quad 0{,}630$$

$$\text{»}\quad 6^e \ldots \quad 0{,}866\, N\left(-\frac{1}{n_6}-\frac{1}{n_7}\right)= \quad 0$$

$$\text{»}\quad 7^e \ldots \quad -0{,}914\, N\left(\frac{1}{n_7}+\frac{1}{n_8}\right)= -0{,}630$$

$$\text{»}\quad 8^e \ldots \quad -0{,}951\, N\left(-\frac{1}{n_8}-\frac{1}{n_9}\right)= \quad 0{,}446$$

$$\text{»}\quad 9^e \ldots \quad -0{,}978\, N\left(\frac{1}{n_9}+\frac{1}{n_{10}}\right)= -0{,}207$$

$$\text{»}\quad 10^e \ldots \quad -0{,}994\, N\left(-\frac{1}{n_{10}}-\frac{1}{n_{11}}\right)= \quad 0{,}014$$

Ces équations nous donnent

$$n_1 = n_2 = \infty,$$

c'est-à-dire que les deux premiers correcteurs devront être supprimés

$$n_2 = n_{11},\quad n_3 = n_{10},\quad n_4 = n_9,\quad n_5 = n_8,\quad n_6 = n_7,$$
$$n_3 = 71\text{N},\quad n_4 = 5{,}07\text{N},\quad n_5 = 3{,}7\text{N},\quad n_6 = 2{,}39\text{ N}.$$

On procédera de même pour les circuits 11, 12, ..., 20, mais en desservant leurs correcteurs au moyen de circuits de N spires enroulés sur les noyaux magnétiques II et III du grand transformateur.

De même, on desservira les correcteurs des circuits 21, 22, ..., 50, au moyen de circuits de N spires enroulés sur les noyaux magnétiques III et I du grand transformateur.

Les circuits 1 et 31, 2 et 32, 3 et 33, ... étant toujours le siége de forces électromotrices égales et de signes contraires, le même correcteur pourra servir pour les circuits de rangs n et $n+30$. Nous n'aurons donc besoin que de 24 correcteurs.

La présence des correcteurs n'influera pas sur la grandeur de la force électromotrice développée entre les balais du redresseur. En effet, les forces électromotrices développées dans deux barres de connexion aboutissant à des touches diamètralement opposées du collecteur (en supposant celui-ci bipolaire) seront toujours égales et de signes contraires.

(A suivre.)

Maurice LEBLANC.

AUTOMOBILE ÉLECTRIQUE

DU RÉGIMENT DES SAPEURS-POMPIERS DE PARIS

Ainsi qu'il a été annoncé antérieurement dans le *Supplément* de ce journal, le régiment des sapeurs-pompiers de Paris possède, depuis le 26 avril dernier, une voiture électrique construite dans ses ateliers sous la direction du capitaine-ingénieur Cordier, intelligemment secondé par l'adjudant Morvan, chef d'atelier. Cette voiture (fig. 1) constitue la première application de la traction électrique au service d'incendie, du moins en Europe, car les Américains ont employé, il y a quelque temps déjà, une pompe à incendie montée sur une voiture de tramway.

La caisse et tous les organes moteurs sont montés sur un châssis en acier en forme de U cintré. L'avant repose sur un essieu brisé, par une suspension à triple ressort. L'arrière repose sur un essieu ordinaire, par une suspension à simple ressort.

L'équipement électrique, entièrement fait par la Société des Voitures électriques et accumulateurs B. G. S. (Bouquet, Garcin et Schivre) à Neuilly-sur-Seine, est analogue à celui qui se trouve sur les voitures construites par cette Société et que nous avons décrit l'an dernier [1].

Le moteur M (fig. 2) est du type T3, de 4 500 watts, à deux collecteurs et pèse 180 kgr.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XVI, p. 455, 10 septembre 1898.

Il entraîne un pignon P accouplé par une chaîne sans fin à la roue R calée sur l'essieu arrière. L'effort de traction est transmis au châssis par un bielle réglable qui sert en même temps de tendeur de chaîne.

La batterie d'accumulateurs, suspendue en B, est du type V19 [1]; elle pèse 520 kgr environ et a une capacité de 150 ampères-heure au régime de décharge de 35 ampères.

En avant de la voiture, devant le conducteur, sont placés les appareils de mesure et de contrôle : un voltmètre de 120 volts; un ampèremètre de 100 ampères; un coupe-circuit à plombs fusibles; une boîte de distribution dans laquelle ou peut introduire soit une fiche reliée aux câbles de charge, soit un bouchon de sûreté; une série d'interrupteurs commandant les lampes à incandescence des lanternes et une lampe d'éclairage des appareils de mesure; un interrupteur commandant une prise de courant pour deux lampes à arc de 10 ampères pour éclairer en cas de besoin les lieux d'un sinistre.

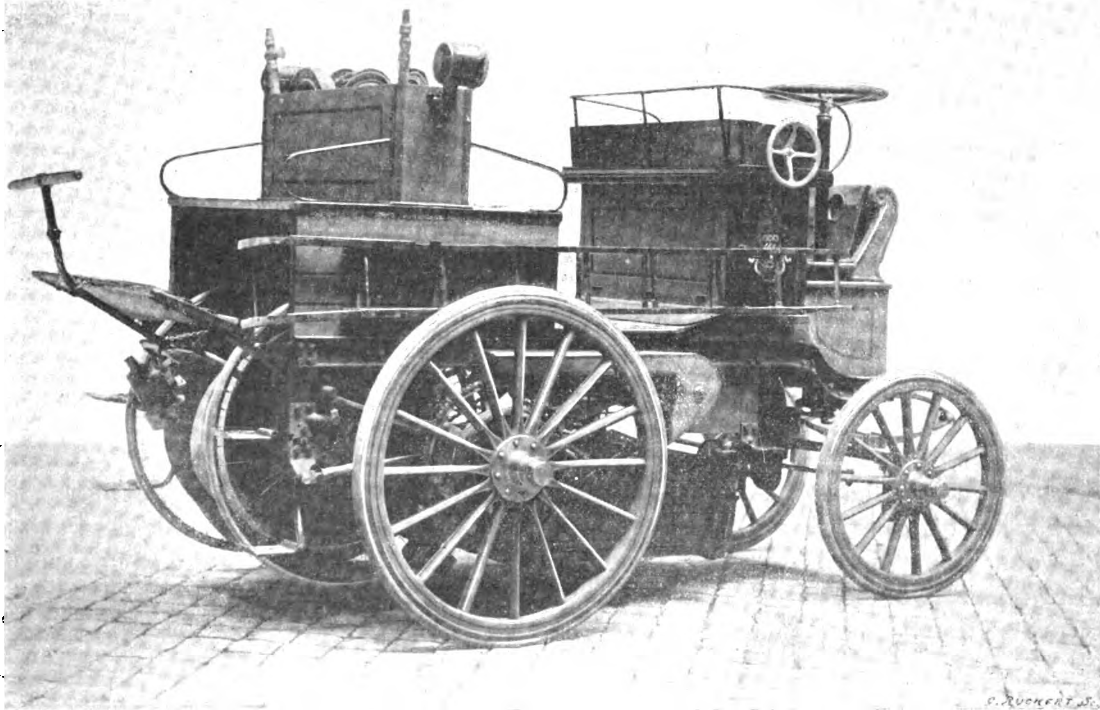


Fig. 1. — Automobile électrique du régiment des sapeurs-pompiers de Paris. Vue par l'arrière.

La direction est commandée par le volant V; une pédale T agit sur le frein de sûreté.

La voiture pèse 1 740 kg à vide, et 2 500 kg personnel et matériel compris. Elle peut alors marcher quatre à cinq heures sur un terrain moyen à des vitesses variant de 15 à 22 km : h.

Le matériel comprend des échelles, deux lances avec leurs tuyaux, un matériel complet pour feux de caves et un dévidoir.

Le dévidoir, suspendu au-dessous de la partie arrière de la voiture comme le montre la figure 1, se compose d'un tambour formant chariot, monté sur deux roues et muni d'une flèche de traction. Chacune des extrémités de l'essieu de ce dévidoir est munie d'un tourillon sur lequel vient s'enfiler un anneau

[1] Voir notre article sur les « Accumulateurs B. G. S. pour automobiles électriques » dans *L'Éclairage Électrique* du 22 juillet 1899, t. XX. p. 94.

relié en H au châssis par une chaîne A et au treuil F par une seconde chaîne C passant sur une poulie E. En actionnant le treuil au moyen du volant G on peut relever ou abais-

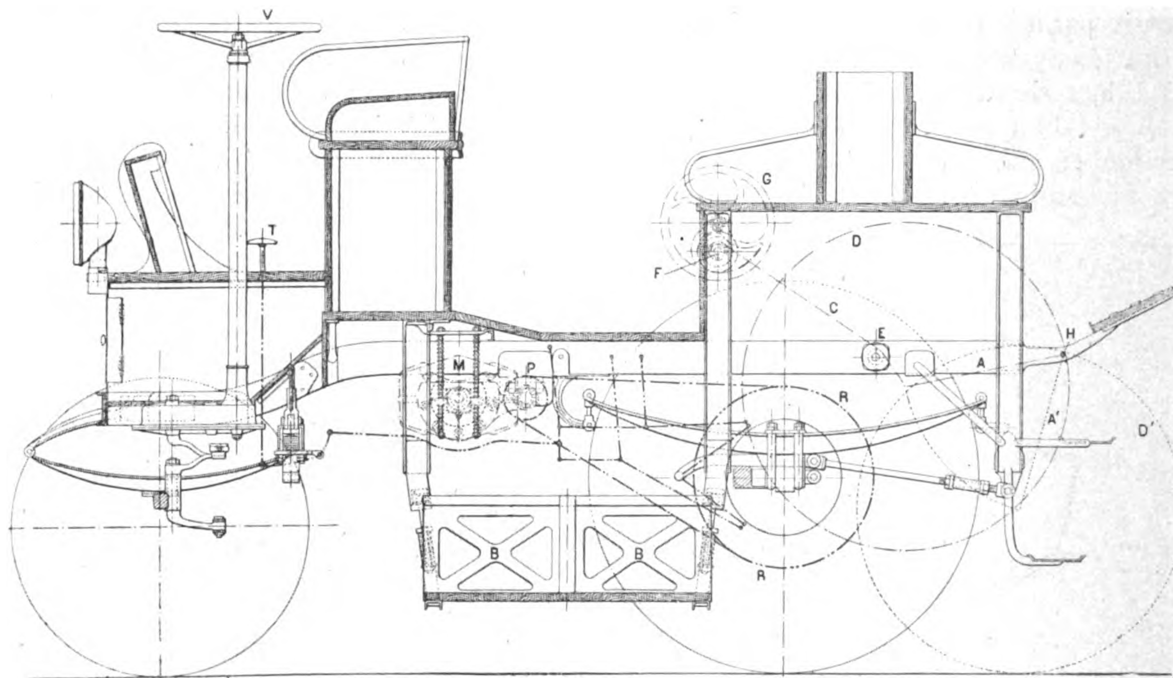


Fig. 2. — Automobile électrique du régiment des sapeurs-pompiers de Paris. Élévation.

ser le dévidoir de manière qu'il occupe la position de transport D ou qu'il repose sur le sol dans la position D'.

Les résultats obtenus jusqu'ici avec cette voiture sont très satisfaisants; s'ils se confirment dans la pratique la plupart des centres de secours de la ville de Paris seront vraisemblablement munis d'une voiture du même type.

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Porte-balai Siemens [1].

Le balai *e*, en charbon ou en cuivre, est maintenu appliqué contre la plaque métallique *f* par le ressort *g*; une vis de réglage *h* permet de faire avancer le balai. La pression du balai contre le commutateur est obtenue à l'aide du ressort en boudin *i*, logé dans une cavité cylindrique *b* de la monture *a* et dont la partie supérieure est munie d'un anneau *j* accroché dans l'ergot *k*. Le câble souple destiné à conduire le courant est fixé dans le trou conique *m*.

L'enlèvement du balai, de son support *f* et du ressort *g* s'effectue très simplement après avoir dégagé l'anneau *j* de l'ergot *k*. Pour déplacer le balai par rapport à son support au moyen de la vis *h*, on commence par soulever l'ensemble jusqu'à ce que la portion en forme de V que le ressort *g* porte à sa partie supérieure vienne s'engager dans la cavité de même forme creusée dans la monture *a*; la

[1] Brevet anglais n° 2174, déposé le 31 janvier 1899, accepté le 1er avril 1899.

pression du ressort contre le balai se trouve alors diminuée et le mouvement du balai

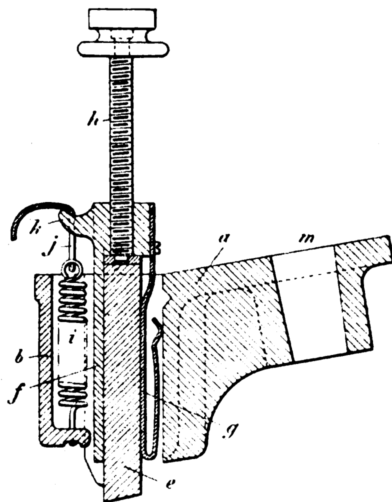


Fig. 1. — Porte-balai Siemens.

sous l'action de la vis s'effectue sans difficulté. J. R.

Dispositif E. J. Preston pour l'éclairage des trains par une dynamo actionnée par un essieu [1].

L'éclairage des trains par le courant d'une dynamo actionnée par un essieu présente, comme on sait, de très grandes difficultés par suite de la nécessité d'obtenir une différence de potentiel pratiquement constante entre les conducteurs d'alimentation malgré les variations de la vitesse du convoi. Dans le système Stone on parvient à ce résultat en accouplant la dynamo et l'essieu moteur au moyen d'une courroie dont on règle la tension de manière à ce que cette courroie actionne la dynamo sans glissement tant que la vitesse du train est au-dessous d'une certaine limite correspondant à la différence de potentiel, normale tandis qu'au contraire elle glisse dès que cette vitesse est dépassée. Les dispositifs décrits dans le brevet de M. E. J. Preston, ingénieur de la maison J. Stone and C°, ont pour but de régler facilement cette tension de la courroie d'accouplement.

La figure 1 représente l'un de ces dispositifs. La dynamo A est suspendue au truck de la voiture au moyen des bielles articulées BB′ représentées sur la figure dans une position verticale mais qui sont réellement légèrement inclinées vers la gauche de manière que le poids de la dynamo tende la

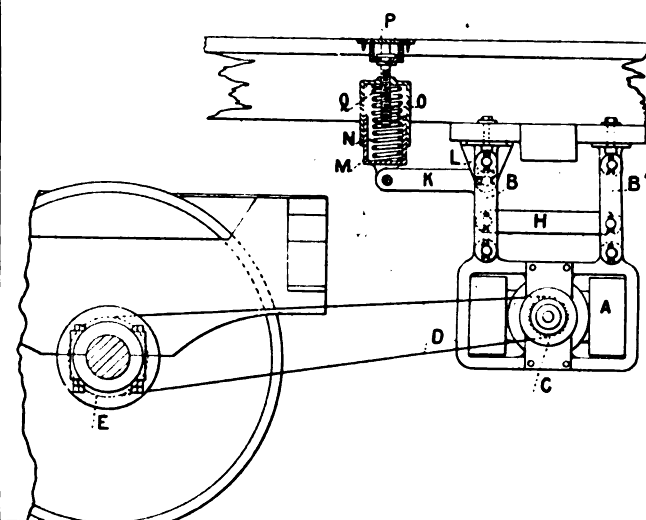


Fig. 1.

courroie D accouplant les poulies C et E. La bielle B′ est reliée par une bielle horizontale H à un levier coudé K mobile autour d'un axe supporté par L. L'extrémité du bras K de ce levier est articulée à un cylindre M pouvant se déplacer à l'intérieur d'un second cylindre N. Les fonds des deux cylindres tendent à s'écarter sous l'action d'un fort ressort en boudin Q. Une tige filetée O traversant le fond du cylindre N et fixée au truck en P permet de régler la tension du ressort et, par conséquent, celle de la courroie d'accouplement.

Les autres dispositifs décrits ne diffèrent de celui-ci que par des détails. J. R.

---

[1] Brevet anglais n° 12431, déposé le 2 juin 1898, accepté le 22 avril 1899.

Nouveau système d'éclairage des voitures de chemins de fer au moyen d'une dynamo actionnée par l'un des essieux ;

Par AUVERT [1].

L'auteur commence par rappeler les différents systèmes qui ont été essayés ou sont utilisés couramment pour l'éclairage électrique des trains.

L'éclairage par *accumulateurs* est jusqu'ici le plus employé. Ou bien les batteries sont mobiles et les batteries déchargées sont remplacées par des batteries chargées après un certain temps de fonctionnement indiqué par un compteur horaire, ou bien les batteries sont fixes dans les voitures et sont rechargées pendant les stationnements des trains. Le premier système est adopté par la Compagnie du Jura-Simplon [2], par la Compagnie italienne de la Méditerranée, par les chemins de fer allemands [3] et a été appliqué sur un certain nombre de voitures de première classe de la Compagnie du P.-L.-M. en 1893. Le second est employé par la Compagnie d'Orléans sur la ligne de Sceaux et Limours et par la Compagnie du Nord pour quelques trains [4]. Ces systèmes présentent des inconvénients évidents.

Les systèmes employant une ou plusieurs dynamos actionnées par la marche du train et des batteries d'accumulateurs de capacités plus ou moins grandes destinées à suppléer les dynamos pendant les arrêts ou lorsque la vitesse du train est inférieure à une certaine limite, sont nombreux. Les plus connus sont les systèmes Stone et le système Dyck.

Le *système Stone* [5] a déjà reçu d'assez nombreuses applications en Angleterre [1] et a été installé sur quelques voitures-restaurants de la Compagnie internationale des wagons-lits et, récemment, sur une voiture à bogies à huit compartiments de la Compagnie P.-L.-M.

Chaque voiture porte une dynamo génératrice prenant son mouvement sur un des essieux au moyen d'une courroie, une batterie d'accumulateurs et un certain nombre d'organes accessoires qui ont pour fonction de rendre le sens du courant indépendant du sens de marche du train, et de ne coupler la dynamo avec la batterie que lorsque la vitesse du train est assez élevée pour que la tension aux bornes de la dynamo soit sensiblement égale à celle qui existe aux bornes de la batterie. A partir de ce moment, et pour toutes les vitesses supérieures, la dynamo fournit le courant nécessaire à l'éclairage et charge en même temps la batterie. L'intensité du courant fourni par la dynamo, qui est la somme du courant de charge de la batterie et du courant d'alimentation des lampes, reste à peu près constante, quelle que soit la vitesse du train, parce que la vitesse de rotation de l'induit de la dynamo reste elle-même sensiblement constante par suite du glissement de la courroie sur la poulie, dès que le couple résistant atteint une certaine valeur; ceci exige que la tension de la courroie ait une valeur constante et bien déterminée. Ce résultat est atteint en tendant la courroie par le poids même de la dynamo qui est, à cet effet, suspendue par un de ses angles au châssis de la voiture ; un contrepoids réglable sert d'ailleurs à équilibrer une partie plus ou moins grande du poids de la dynamo pour arriver exactement au degré de tension nécessaire [2].

Le *système Dick*, que nous avons décrit récemment [3], est actuellement en essai sur

[1] *Revue générale des Chemins de fer et tramways*, t. XXII, p. 57, août 1899.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 248, 392, 552, 31 juillet, 28 août et 18 septembre 1897.

[3] *Idem*, t. I, p. 575, 1er décembre 1894, et t. VII, p. 308, 16 mai 1896, article « Accumulateurs Bœse »; t. XV, p. XCIV, 18 juin 1898.

[4] *Idem*, t. XII, p. 599, 25 décembre 1897.

[5] *Idem*, t. VIII, p. 526, 12 septembre 1896.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 240, 2 mai 1896; t. XVII, p. CX, 17 décembre 1898.

[2] Voir plus haut le dispositif Preston.

[3] *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 523, 24 décembre 1898.

un train circulant sur la ligne de Vienne à Saint-Polten : une dynamo placée sous un fourgon reçoit son mouvement de l'un des essieux, par l'intermédiaire d'un train d'engrenages, à la manière des moteurs de tramways. Sur ce fourgon sont installés des appareils régulateurs assurant la constance de la tension aux bornes de la dynamo quelle que soit sa vitesse au-dessus d'une valeur déterminée. Chaque véhicule porte une batterie et se trouve relié au fourgon par une canalisation générale disposée sur toute la longueur du train. Lorsque la vitesse atteint une certaine valeur, déterminée par le réglage des appareils, la dynamo, dont l'excitation est fournie par la batterie du fourgon, se trouve, par suite du fonctionnement d'un conjoncteur-disjoncteur, couplée en parallèle avec la canalisation principale et par conséquent avec toutes les batteries des voitures. La tension est maintenue sensiblement constante par un appareil régulateur installé dans le fourgon, qui intercale dans le circuit d'excitation de la dynamo une résistance variable. L'intensité du courant fourni par la dynamo est variable avec la vitesse.

Le fonctionnement général est le suivant : pendant le jour les batteries des voitures sont en charge. Pendant la nuit, c'est-à-dire lorsque les lampes sont allumées, le courant fourni par la dynamo est inférieur au courant total exigé par les lampes ; la batterie fournit le complément.

Le système Dick ne paraît convenir que dans le cas où le service de jour des voitures est assez long pour rendre aux accumulateurs la charge qu'ils perdent pendant le service de nuit. De plus le système de transmission de mouvement de l'essieu du fourgon à la dynamo génératrice, au moyen d'un train d'engrenages, ne convient pas pour les grandes vitesses et exige, au point de vue du graissage des paliers de suspension de la dynamo sur l'essieu, une surveillance difficilement compatible avec le service des trains rapides à long parcours.

Divers *autres systèmes* (1) appartenant à la même catégorie ont été appliqués récemment en Amérique. Mais tandis que les précédents fonctionnent d'une façon automatique, ceux-ci, qui sont en quelque sorte la réduction d'une usine d'électricité avec tableau de distribution, appareils de mesure, etc., exigent l'intervention d'un surveillant. Ces systèmes, qui peuvent convenir au mode d'exploitation américain paraissent difficilement applicables sur les réseaux français.

M. Auvert décrit ensuite un système que la Compagnie P.-L.-M. vient d'appliquer, à titre d'essai, sur la voiture de première classe à couloir AA-12143. Ce système comporte, comme le système Stone, l'emploi d'une batterie d'accumulateurs et d'une dynamo génératrice actionnée par l'un des essieux et produisant, à partir d'une certaine vitesse, un courant constant, mais il diffère essentiellement du système Stone par le procédé de réglage de l'intensité du courant.

La dynamo génératrice à excitation constante, a une vitesse exactement proportionnelle à celle de l'essieu qui la conduit, et la tension aux bornes est sensiblement proportionnelle à la vitesse. Tant que cette tension est inférieure à celle qui existe aux bornes de la batterie de la voiture, le circuit reliant la dynamo à la batterie est maintenu ouvert par un conjoncteur-disjoncteur automatique, et l'excitation de la dynamo est faite exclusivement par la batterie qui alimente en même temps les lampes. Quand par suite de l'augmentation de la vitesse du train, les deux tensions deviennent égales, le conjoncteur-disjoncteur automatique couple en parallèle la batterie avec la dynamo, et celle-ci commence à fournir une partie du courant nécessaire à l'alimentation des lampes et à l'excitation de l'inducteur. La vitesse augmentant encore un peu, la dynamo fournit non seulement le courant nécessaire à l'alimentation des lampes et à l'excitation

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. I, p. 478, 1894; t. IV, p. 316, 1895; t. VI, p. 94, 1896.

de l'inducteur, mais encore un excédent de courant qui charge la batterie.

Mais comme la différence de potentiel aux bornes de la dynamo croît rapidement avec la vitesse, l'intensité du courant pourrait devenir trop considérable s'il n'y avait pas un régulateur. Ce régulateur est constitué par un petit moteur-série traversé par le courant à régulariser et portant une poulie sur laquelle un frein est appliqué avec une pression convenable. Tant que l'intensité du courant reste au-dessous d'une certaine valeur le moteur reste en repos ; pour une intensité plus grande le moteur tourne malgré le frein et la force

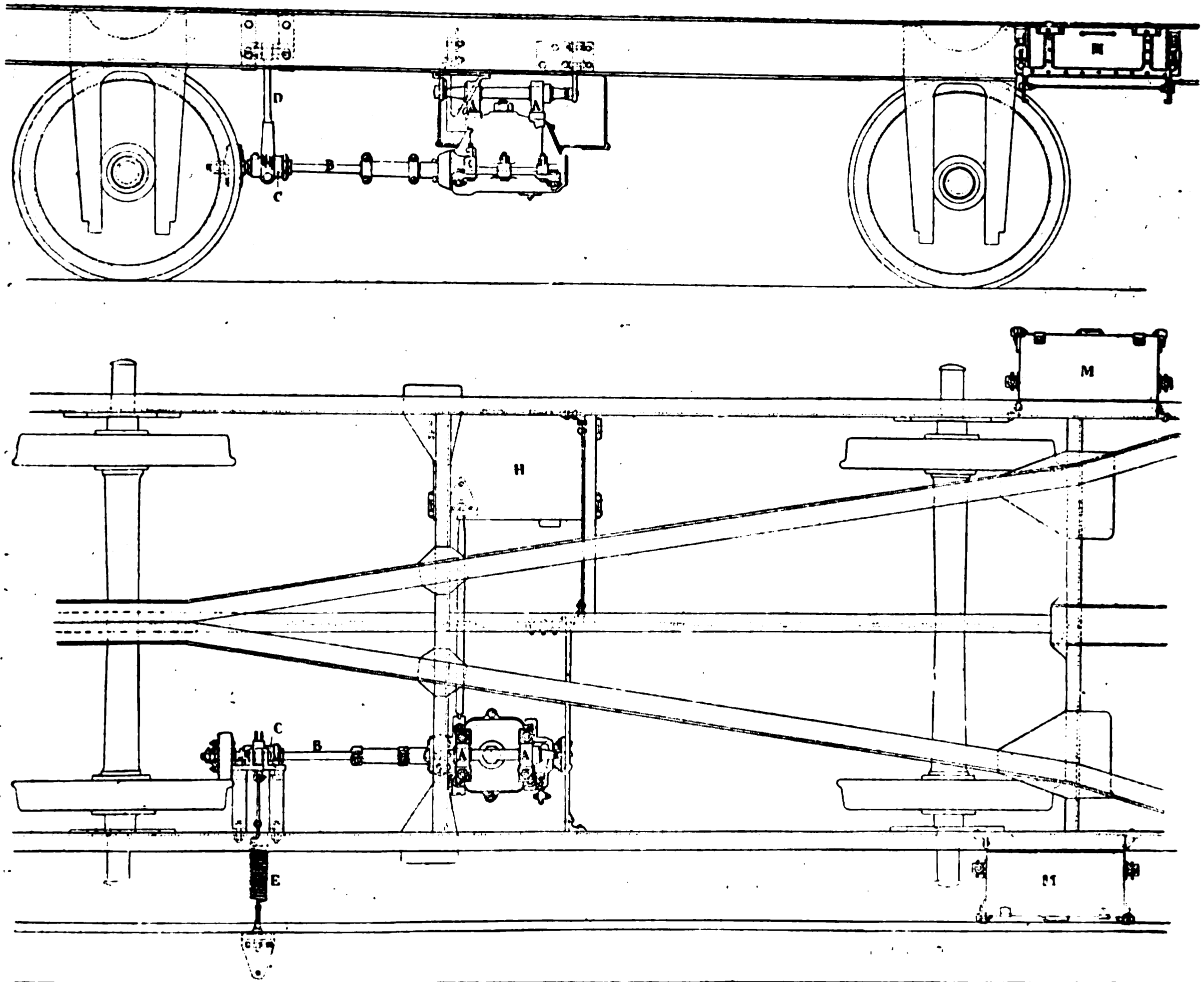


Fig. 1 et 2. — Système de la Compagnie du P.-L.-M. pour l'éclairage des wagons au moyen d'une dynamo actionnée par l'un des essieux.

contre-électromotrice qu'il développe se retranchant de la différence de potentiel aux bornes de la dynamo, l'intensité du courant se maintient constante.

Voici maintenant comment ce système a été appliqué :

La *dynamo génératrice* est du type bipolaire à inducteur cuirassé avec bobine unique. L'excitation de cette bobine, assurée par la batterie de la voiture comme il a été dit, est faite sous la tension de 15,5 volts. L'induit, un anneau Gramme lisse, est calculé pour supporter normalement 30 ampères en développant à la vitesse de 1 350 tours par minute une différence de potentiel aux balais de 15,5 volts. Les balais sont en charbon.

Elle est suspendue au châssis de la voiture par une articulation AA (fig. 1 et 2) qui lui permet de s'incliner légèrement de part et d'autre de la verticale et elle est maintenue dans une position fixe au moyen d'une tringle filetée.

La *transmission du mouvement* de l'essieu à la dynamo s'effectue au moyen d'un galet de friction en cuir monté à l'extrémité de la tige articulée B prolongeant l'axe de l'induit et qui est appliqué contre la face plane intérieure du bandage de l'une des roues de l'essieu milieu de la voiture. L'articulation de la tige est constituée par un simple tuyau de caoutchouc qui permet de légères déviations de la tige par rapport à l'induit. La tige est supportée, près du galet, par un palier à billes C suspendu au châssis de la voiture par la bielle articulée D. Un ressort à boudin E attaché d'une part au palier à billes, d'autre part au marchepied de la voiture, maintient le galet constamment appuyé sur la face intérieure du bandage avec une force de 30 kg environ [1].

Le *régulateur d'intensité* est représenté par la figure 3. C'est un petit moteur bipolaire, à excitation série et anneau Gramme lisse, dont l'axe porte une poulie de bronze sur laquelle s'appuient des frotteurs en charbon pressés par des ressorts. La tension de ces ressorts est réglée de telle façon que le couple résistant, déterminé par l'adhérence des frotteurs en charbon sur la jante de la poulie, soit précisément égal au couple que développe le moteur lorsque l'intensité du courant qui le traverse est égale à 28 ampères.

Pour toutes les vitesses du train inférieures à 50 km : h, le courant qui traverse l'induit du régulateur est nul ou inférieur à 28 ampères et l'induit ne tourne pas. Lorsque la vitesse du train dépasse 50 km : h l'induit commence à tourner et l'intensité reste constante et égale à 28 ampères. Sur ces 28 ampères, 16 servent à l'alimentation des lampes de la voiture, 8 servent à recharger la batterie et 4 à l'excitation de la dynamo et deux appareils accessoires dont il sera question plus loin : conjoncteur-disjoncteur et commutateur-inverseur.

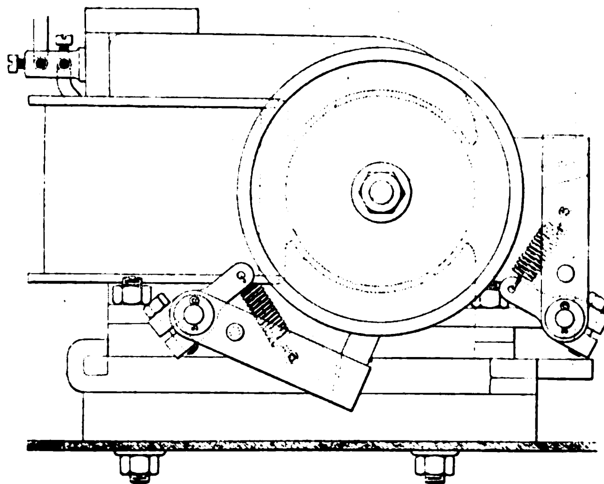


Fig. 3. — Régulateur d'intensité.

Lorsque la vitesse descend un peu au-dessous de 50 km : h le courant de charge de la batterie diminue rapidement et tombe à zéro. Si la vitesse diminue encore, la batterie se substitue graduellement à la dynamo pour l'alimentation des lampes et lorsque le courant fourni par la dynamo est sensiblement nul, le conjoncteur-disjoncteur la met automatiquement hors circuit et la batterie continue seule à alimenter les lampes.

Le régulateur est installé dans un coffre en tôle fixé sous le châssis de la voiture et muni de portes à charnières disposées de façon à permettre une visite facile des organes.

Le *conjoncteur-disjoncteur* est constitué par un solénoïde à fil fin, en dérivation sur les bornes de la dynamo, qui attire un cylindre de fer doux équilibré par un ressort convenablement réglé. Quand l'attraction du solé-

[1] M. Auvert fait remarquer qu'une commande par courroie eût été préférable au point de vue mécanique. L'emploi d'un galet de friction a été motivé par la nécessité de laisser à la voiture la faculté de passer sur les ponts roulants sans fosse employés dans toutes les grandes gares du réseau P.-L.-M. Il était impossible de placer une poulie sur l'un des essieux de la voiture sans entamer le gabarit des chariots.

Le même inconvénient ne se présenterait pas s'il s'agissait d'établir l'éclairage électrique sur des voitures à bogies car ces voitures étant beaucoup trop longues pour passer sur les chariots, rien n'empêcherait de placer sur l'un des essieux une poulie de commande d'un diamètre suffisant.

noïde est suffisante pour vaincre l'action du ressort, le cylindre fait basculer un petit balancier qui établit les contacts voulus pour opérer le couplage de la dynamo avec la batterie. Lorsque, par suite de la diminution de la vitesse du train, le courant dérivé diminue d'intensité le cylindre, sollicité par le ressort, rompt ces contacts.

Le *commutateur inverseur automatique* se compose d'un petit balancier à chacune des extrémités duquel est suspendu un cylindre doux qui plonge dans un solénoïde à double enroulement. L'un des enroulements est parcouru par un courant dérivé de sens invariable pris aux bornes de la batterie et l'autre par un courant pris directement aux bornes de la dynamo. Le sens de ce dernier dépend du sens de la marche du train puisque le courant d'excitation de la dynamo, fourni par la batterie, est de sens invariable. Suivant le sens dans lequel circule le courant de la dynamo, le balancier s'incline à droite ou à gauche et ce mouvement de bascule est utilisé pour établir les connexions de telle sorte que le courant soit toujours de même sens dans la canalisation.

Le commutateur inverseur et le conjoncteur-disjoncteur sont placés dans le coffre contenant le régulateur.

La *batterie d'accumulateurs* se compose de huit éléments Bœse placés dans quatre coffres en tôle MM fixés aux brancards de la voiture, deux de chaque côté (fig. 1 et 2). Le poids total de ces éléments, y compris les boites en bois dans lesquelles sont placés les bacs en celluloïd contenant les électrodes est de 208 kg et leur capacité utilisable est de 180 ampères-heure environ. L'intensité du courant d'élairage étant de 20 ampères environ la batterie pourrait, à elle seule, assurer l'éclairage pendant 8 à 9 heures.

Les *lampes à incandescence* sont au nombre de 13. Huit servent à l'éclairage des quatre compartiments à six places du wagon, les cinq autres à l'éclairage du couloir et du water-closet. Toutes sont fixées au plafond et sont munies de tulipes opales. Leur intensité est de 9 bougies ; elles consomment chacune 1,22 ampère sous 15 volts.

Un *commutateur d'allumage*, manœuvré par une clé spéciale, se trouve à l'une des extrémités du couloir, à l'intérieur de la voiture.

Un *commutateur de mise en veilleuse* se trouve dans chaque compartiment. Il permet de mettre en tension les deux lampes du compartiment (qui normalement sont en parallèle) de sorte qu'elles ne sont plus traversées que par un courant juste suffisant pour faire légèrement rougir les filaments. En même temps il dérive dans une résistance auxiliaire un courant qui, ajouté à celui qui traverse les lampes en tension, donne le même nombre d'ampères que lorsque les deux lampes sont montées en parallèles et éclairent normalement.

La voiture dont il est question a été mise en service régulier entre Paris et Vintimille à partir du 27 mars dernier, dans les trains rapides 9 et 12, puis 7 et 10. Elle a fait en outre deux voyages aller et retour de Paris à Marseille dans les trains rapides 1 et 2. A la date du 1er juillet, elle avait ainsi effectué, depuis le 27 mars, un parcours de 29 000 km environ, sans qu'il se produisît aucun dérangement dans le fonctionnement des appareils électriques.

L'éclairage du compartiment est très brillant et la lumière est parfaitement fixe, sauf toutefois une légère oscillation qui se produit entre les vitesses de 45 ou de 50 km à l'heure, au moment de la substitution de la batterie à la dynamo ou vice versa, pour l'éclairage des lampes. Cette oscillation momentanée est très peu importante et pourrait être rendue insensible dans les installations nouvelles.

M. Auvert ajoute que cette installation n'ayant pour but que de vérifier expérimentalement le bon fonctionnement des divers dispositifs du système et du régulateur, on a réuni sur le même véhicule les appareils producteurs et les appareils régulateurs du courant, mais que dans une installation compre-

nant un train entier, on pourrait n'avoir qu'une seule dynamo installée dans un fourgon. Chaque voiture comporterait seulement une batterie d'accumulateurs et un appareil régulateur avec conjoncteur-disjoncteur.

J. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Défaut de généralité de la théorie de la polarisation fictive des diélectriques ;

Par H. Pellat [1].

Au sujet d'une note de M. Pellat sur la polarisation des diélectriques ;

Par Liénard [2].

M. Pellat veut établir que la théorie de la polarisation fictive ou *instantanée* des diélectriques est impuissante à expliquer les forces qui se produisent sur un diélectrique primitivement non électrisé, placé dans un champ électrique.

Pour cela il considère un condensateur formé de deux armatures planes, parallèles et verticales AB et CD (fig. 1), à contour

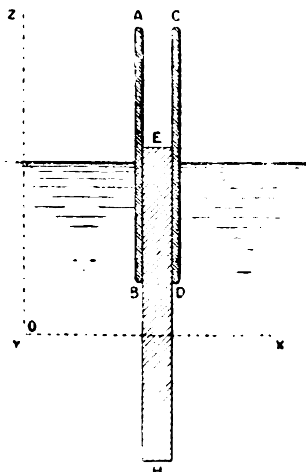


Fig. 1.

rectangulaire, la dimension perpendiculaire au plan de la figure ayant une longueur l infinie par rapport aux autres dimensions. Entre les armatures de ce condensateur est placée une lame rectangulaire d'un diélectrique solide EH non électrisé, ayant même largeur l que les armatures, une épaisseur égale à la distance e de celles-ci, s'élevant environ à mi-hauteur des armatures et les dépassant inférieurement d'une quantité suffisante pour que le champ électrique, qui se produit lorsque les armatures sont chargées, soit nul sur la base H de la lame. Enfin toute la partie inférieure de ce système baigne dans une cuve contenant un liquide de même pouvoir inducteur spécifique K que la lame EH, l'air existant au-dessus de E entre les armatures.

D'après la théorie de l' « Électrostatique non fondée sur la loi de Coulomb », établie antérieurement par M. Pellat [1], il doit exister une force verticale tirant la lame EH de bas en haut et donnée par la relation

$$F = \frac{1}{2} V^2 \frac{dC}{d\zeta}. \qquad (1)$$

dans laquelle C est la capacité du condensateur et ζ l'ordonnée de la base supérieure E de la lame, relation qui peut encore s'écrire

$$F = \frac{V^2 l (K-1)}{8\pi e} \qquad (2)$$

en remplaçant $\frac{dC}{d\zeta}$ par sa valeur $\frac{l(K-1)}{4\pi e}$ [2].

(1) *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1218, séance du 15 mai 1899.

(2) *Idem*, t. CXXVIII, p. 1568, séance du 26 juin 1899.

(1) *Ann. de Ch. et de Phys.*, 7e série, t. IV, § 41, 1895. Voir aussi les articles de M. Pellat publiés dans *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 289 et 481, 1895.

(2) M. Pellat fait remarquer que l'exactitude de la formule (1) ne saurait être mise en doute, car non seulement il l'a déduite des principes de la Thermodynamique, mais encore il l'a vérifiée quantitativement dans des expériences faites dans des conditions presque identiques à celles supposées

D'un autre côté M. Pellat montre que la théorie de la polarisation est impuissante à expliquer cette force verticale agissant sur la lame ([1]) et par conséquent doit être abandonnée.

Ajoutons immédiatement que dans une note présentée à l'Académie des Sciences quinze jours plus tard, M. Pellat dit avoir reconnu que la théorie de la polarisation fictive des diélectriques rend compte de l'existence de la force verticale ([2]).

M. Liénard va plus loin; il montre que la théorie de la polarisation fictive des diélectriques conduit aux mêmes conséquences que les autres théories, non seulement dans le cas particulier examiné par M. Pellat mais encore dans tous les cas imaginables. Voici les considérations qui le conduisent à cette conclusion :

« Dans son *Electrostatique non fondée sur les lois de Coulomb*, M. Pellat trouve comme expression de l'énergie (§ 38)

$$W = \frac{1}{2} \Sigma MV, \qquad (1)$$

expression que M. Vaschy (*Théorie de l'Électricité*, p. 89) a montré être identique à

$$\frac{1}{8\pi} \int KH^2 \, d\omega,$$

K étant le pouvoir inducteur spécifique et H la force électrique en un point du champ. Cette dernière forme est celle de Maxwell (*Traité*, t. I, § 111).

---

ci-dessus (*Comptes rendus*, t. CXXI, p. 938, 1895. *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 39, 1896).

Nous ferons remarquer que la formule (2), conséquence immédiate de la formule (1), se déduit très facilement de la théorie des diélectriques établie par Maxwell dans laquelle il est supposé qu'un diélectrique placé dans un champ est le siège de tensions et de pressions.

([1]) Voici le raisonnement que fait M. Pellat:

« La théorie de la polarisation est impuissante à expliquer cette force verticale agissant sur la lame. Remarquons, en effet, qu'entre les armatures, si ce n'est tout près de leurs bords, les surfaces équipotentielles sont des plans parallèles aux armatures, *même près de la surface de séparation* E *du diélectrique et de l'air*. Pour le voir, il n'y a qu'à remarquer que l'équation $V = ax + b$ représente le potentiel partout entre les armatures, car elle satisfait aux conditions nécessaires et suffisantes pour cela : sa laplacienne ΔV est nulle et, à la surface de séparation de la lame et de l'air, on a bien

$$K_1 \left(\frac{\partial V}{\partial n}\right)_1 = K_2 \left(\frac{\partial V}{\partial n}\right)_2 \quad \text{et} \quad \left(\frac{\partial V}{\partial s}\right)_1 = \left(\frac{\partial V}{\partial s}\right)_2,$$

en représentant par $\left(\frac{\partial V}{\partial n}\right)_1$ et $\left(\frac{\partial V}{\partial n}\right)_2$ la dérivée de V par rapport à la normale à la surface de séparation pour chacun des deux milieux (ces dérivées sont nulles ici) et par $\left(\frac{\partial V}{\partial s}\right)_1$, $\left(\frac{\partial V}{\partial s}\right)_2$, la dérivée de V par rapport à une même direction s tangente à la surface de séparation.

» Dès lors, les lignes de forces étant des droites horizontales, partout entre les armatures, le champ est horizontal et il ne peut donner naissance à une force verticale en agissant sur une couche de polarisation.

» D'autre part, puisque le liquide a même pouvoir inducteur spécifique que la lame, la couche électrique de polarisation est nulle tout le long des faces BH et DH, et aucune force électrique, explicable par la polarisation, ne peut se produire en cet endroit. Enfin, l'excès de pression hydrostatique du liquide qu'on pourrait déduire de la polarisation de celui-ci ne peut produire aucune force verticale, puisque, aux endroits où le champ n'est pas nul, les faces de la lame diélectrique baignées par le liquide sont verticales. »

([2]) M. Pellat n'indique pas comment il est parvenu à ce dernier résultat en contradiction avec celui du raisonnement du renvoi précédent; il ne dit pas non plus si l'expression de la force à laquelle il est arrivé est identique à l'expression (1).

Dès la publication de la première note de M. Pellat, nous avons nous-même cherché si vraiment la théorie des couches fictives de polarisation ne pouvait expliquer l'existence de la force verticale F. Nous avons pour cela considéré un condensateur formé de deux armatures verticales plongées jusqu'à la moitié de leur hauteur dans un diélectrique de pouvoir inducteur K, ce liquide étant surmonté d'un autre liquide de pouvoir inducteur 1 s'étendant à une grande distance au-dessus du premier. Supposant sodifiée la tranche verticale limitée par les plans des deux armatures, nous avons cherché la composante verticale de la résultante des forces exercées par les charges réelles des armatures sur les charges fictives des faces de la lame diélectrique hétérogène. Nous avons trouvé que cette composante existe, qu'elle est dirigée dans le sens indiqué par M. Pellat, mais que sa valeur est donnée par une expression logarithmique beaucoup plus compliquée que l'expression (1).

Le résultat diffère donc suivant la manière d'attaquer la question : M. Pellat, par le raisonnement reproduit dans le renvoi (1) de la colonne précédente, trouve qu'il ne doit pas y avoir de force verticale; par un raisonnement qu'il n'indique pas, il est ensuite parvenu à retrouver la formule (1); enfin, par le calcul dont nous venons d'indiquer la marche on trouve bien une force verticale, mais dont la valeur est différente de celle de la ormule (1).

Ces divergences montrent combien les théories des diélectriques hétérogènes sont mal assises et l'intérêt qu'il y aurait à les examiner à fond.

» Il suffit donc de faire voir que les lois de Coulomb conduisent encore à la même relation (1) où M est une charge électrique vraie. Nous pourrons faire le raisonnement de plusieurs manières.

» Dans la théorie de Poisson, il y a simplement séparation des deux électricités sur chaque cellule conductrice du diélectrique. Distinguons le potentiel vrai ψ, qui est constant sur chaque cellule et varie rapidement de l'une à l'autre, d'avec la fonction V qui diffère très peu de ψ en chaque point, mais dont les variations sont continues, fonction V que l'on introduit seule dans l'expression de la loi de Gauss. *e* étant une charge diélectrique, vraie ou produite par la polarisation, W dans la théorie de Coulomb sera égal à $\frac{1}{2}\Sigma\psi e$. Mais pour chaque cellule du diélectrique la charge totale est nulle, ψ constant et la partie de W y relative sera nulle. On aura donc simplement $W = \frac{1}{2}\Sigma\psi M$ ou $\frac{1}{2}\Sigma MV$ en remplaçant maintenant ψ par V qui en diffère très peu.

» Si nous suivons, au contraire, la marche indiquée par Helmholtz (*Wiedemann's Annalen*, t. XIII) nous conduirons notre raisonnement de la manière suivante :

» Si la polarisation fictive $I = \frac{K-1}{4\pi}H$ du diélectrique restait constante dans un déplacement, l'énergie aurait pour expression

$$\frac{1}{8\pi}\int H^2 d\omega, \qquad (2)$$

de même qu'elle est $\frac{1}{8\pi}\int H^2\, d\omega$ pour un système d'aimants permanents. En réalité, lors d'une déformation du système, la polarisation varie avec la force électrique et le travail n'est plus égal à la diminution de (2).

» Remarquons que, pour évaluer le travail dans un déplacement, nous pouvons tout aussi bien, au lieu de (2), prendre l'expression

$$\frac{1}{8\pi}\int H^2 d\omega + 2\pi\int\frac{I^2}{K}\,d\omega, \qquad (3)$$

qui n'en diffère que par une quantité constante lorsque l'on suppose la polarisation invariable.

» Mais Helmholtz démontre que (3) est un minimum dans l'état d'équilibre. Autrement dit, si la polarisation varie à partir de la valeur d'équilibre, la variation de (3) est du deuxième ordre, et négligeable (*cf.* aussi Duhem, *Théorie de l'aimantation par influence*). Le travail sera donc égal à la diminution de (3) que l'on peut prendre comme fonction W. Or, en remplaçant I par $\frac{K-1}{4\pi}H$, (3) se transforme en $\frac{1}{8\pi}\int KH^2\,d\omega$. »

Sur la polarisation vraie des diélectriques placés dans un champ électrique;

Par M. H. Pellat [1].

« M. Bouty, dans son travail sur les condensateurs en mica [2], a émis l'idée que les charges résiduelles et phénomènes connexes présentés par les condensateurs à diélectrique solide s'expliquaient en admettant un résidu dans la polarisation du diélectrique persistant après la disparition du champ.

» Pour rendre l'idée de M. Bouty indépendante de la théorie de la polarisation fictive, je dirai :

» *Un diélectrique* (solide ou liquide), *placé brusquement dans un champ électrique constant prend une polarisation, qui n'est pas instantanée, mais qui croît avec le temps et atteint asymptotiquement un maximum. Si le champ vient à cesser, la polarisation décroît et redevient nulle au bout d'un certain temps, théoriquement infini.*

» Cette idée, ainsi précisée, constitue-t-elle une simple hypothèse, commode pour expliquer les phénomènes résiduels, ou est-elle l'expression d'une réalité ?

» L'expérience suivante donne une preuve directe de l'existence d'une semblable polarisation.

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1312, séance du 29 mai 1899.

[2] *Journal de Physique*, 2e série, t. IX, p. 288; 1890.

» Rappelons d'abord qu'un corps, primitivement à l'état neutre, puis polarisé, reste à l'état neutre à son intérieur et ne manifeste que des charges électriques superficielles positives sur une face, négatives sur l'autre, égales en valeur absolue; en outre, si l'on vient à couper le corps polarisé, *les nouvelles faces obtenues par la rupture présentent des charges électriques égales et de signes contraires*. C'est ce dernier point qui constitue précisément le fait de la polarisation.

» J'ai opéré sur l'ébonite. Pour diverses raisons, on ne pouvait songer à fendre avec une scie un bloc d'ébonite pour constater sa polarisation. J'ai donc fendu le bloc à l'avance, c'est-à-dire que j'ai pris deux plaques d'ébonite (10, 7, 1 cm), taillées dans un même morceau et rodées, de façon qu'elles puissent s'appliquer exactement l'une sur l'autre en reconstituant le bloc primitif. Un manche en ébonite, fixé à chacune d'elles, permettait de les manier.

» Après désélectrisation préalable, ces plaques, mises en contact de façon à constituer un bloc, étaient placées horizontalement entre les armatures horizontales d'un condensateur plan A. Des feuilles d'ébonite, collées sur les faces en regard de ces armatures et débordant celles-ci, protégeaient les plaques contre l'électrisation par aigrettes. Ce condensateur était chargé par le jeu d'un commutateur de grandes dimensions qui mettait en rapport les armatures de celui-ci avec celles d'une batterie chargée. On créait ainsi brusquement un champ électrique, dont les lignes de forces étaient perpendiculaires aux faces des plaques. On laissait agir ce champ pendant un temps qui a varié de trente à cent vingt secondes; puis, ayant ramené les armatures au même potentiel, on enlevait la plaque supérieure; elle était immédiatement placée entre les armatures planes et verticales d'un petit condensateur B, celles-ci étant juste distantes de la quantité nécessaire pour que la plaque puisse être introduite sans frottement; l'une des armatures communiquait avec une conduite de gaz, l'autre avec l'aiguille d'un électromètre dont les quadrants étaient chargés par les pôles d'une pile reliée en son milieu à la conduite de gaz. On voyait aussitôt l'aiguille dévier dans un certain sens; si l'on retournait la plaque face pour face dans le condensateur B, l'aiguille déviait dans l'autre sens, indiquant que les deux faces de la plaque d'ébonite étaient chargées d'électricité de signes contraires. A chaque retournement de la plaque, la déviation changeait de sens; mais ces déviations diminuaient avec le temps et, au bout de trois ou quatre minutes, devenaient insensibles. Dans la plupart des expériences, avant d'introduire la plaque dans le condensateur B, on la plaçait dans un petit cylindre de Faraday, formé d'une boîte rectangulaire en clinquant, juste assez large pour recevoir la plaque sans frottement, communiquant avec l'aiguille de l'électromètre et bien isolé. Or, dans plusieurs expériences, la charge totale de la plaque mesurée ainsi fut trouvée nulle ou insignifiante, tandis que, en mettant ensuite la plaque dans le condensateur B, on avait une déviation de toute la longueur de l'échelle, au premier moment.

» Ces expériences ne laissent aucun doute sur l'état de polarisation du bloc d'ébonite dont la plaque représente la moitié. Il est impossible d'expliquer ce phénomène par une conductibilité dans la masse ou par la surface, car la plaque aurait eu une charge totale déterminée, positive ou négative suivant le sens du champ, constatable par le cylindre de Faraday. Du reste, une étude que j'ai faite de la conductibilité de l'ébonite, sur les plaques mêmes qui m'avaient servi, a montré qu'elle était beaucoup trop faible pour produire les phénomènes observés.

» Les conséquences de cette polarisation des diélectriques se produisant conformément à l'énoncé donné en tête de cette Note, et qu'on pourrait appeler la *loi de la polarisation*, sont nombreuses et importantes; elles seront l'objet d'un Mémoire. Je signalerai, en particulier, que les trois lois trouvées

expérimentalement, par M. Jacques Curie, pour la conductibilité apparente des diélectriques, s'obtiennent *a priori*, en partant de cette loi de la polarisation. En s'appuyant sur le fait que le pouvoir inducteur spécifique, mesuré par les méthodes ordinaires, devient constant dès que le temps pendant lequel le diélectrique est soumis à l'action du champ est suffisamment petit, le Mémoire montrera que, conformément à l'énoncé de la loi, *la polarisation n'est pas instantanée*. Enfin, plusieurs relations susceptibles de vérifications expérimentales numériques y seront établies. »

Sur les formules de Mossoti-Clausius et de Betti relatives à la polarisation des diélectriques ;

Par M. F. BEAULARD [1].

1. La théorie mathématique de l'induction magnétique a été établie pour la première fois par Poisson [2], en considérant un milieu magnéfique comme constitué par l'assemblage d'un grand nombre de corpuscules sphériques, de perméabilité infiniment grande, disséminés dans un milieu non magnétique, Cette conception permet d'établir entre le coefficient d'aimantation k, le rapport g de l'espace occupé réellement par les corpuscules magnétiques au volume total de la substance, et la perméabilité magnétique μ de celle-ci, les relations

$$k = \frac{3g}{4\pi(1-g)}. \qquad (1)$$

$$\mu = 1 + 4\pi k, \qquad (2)$$

d'où l'on tire

$$\mu = \frac{1+2g}{1-g}. \qquad (3)$$

Or il est facile de voir que, dans le cas du fer, en adoptant la valeur $\mu = 500$, on obtient plus le remplissage relatif g, déduit de (3), une valeur supérieure au rapport maximum $\frac{n}{3\sqrt{2}}$ que puisse atteindre g lorsque les corpuscules égaux entre eux sont en contact immédiat [1]. Cette difficulté a été signalée par Maxwell [1]; Betti [2] l'a fait disparaître en modifiant la relation (1) de Poisson et la remplaçant par la suivante

$$k = \frac{\mu-1}{4\pi} = \frac{3g}{4\pi(1-3g)}, \qquad (4)$$

d'où la valeur de μ

$$\mu - \frac{1}{1-3g}; \qquad (5)$$

on vérifie facilement que, pour $\mu = 500$, la valeur de g déduite de (5) est en effet inférieure au rapport maximum $\frac{n}{3\sqrt{2}}$.

2. Adoptant les vues de Faraday, à savoir que les diélectriques sont formés d'un très grand nombre de corpuscules sphériques conducteurs, distribués dans un isolant parfait, Mossoti [3] a transporté les idées de Poisson dans la théorie de la polarisation des diélectriques, la constante diélectrique K correspondant à la perméabilité magnétique μ. Plus tard, et indépendamment de Mossotti, le physicien Clausius [4], développant les hypothèses que Poisson et Green ont prises pour base de leur théorie sur le Magnétisme, et admettant que les corpuscules sont un peu conducteurs, et très petits par rapport aux intervalles séparatifs, a donné une relation identique à celle de Poisson, K remplaçant μ.

D'une façon plus générale, si l'on désigne par K_2 la constante diélectrique des corpuscules sphériques distribués dans un milieu de constante diélectrique K_1, on a, en repré-

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 149, séance du 17 juillet 1899.

[2] POISSON. *Mémoire sur le Magnétisme*, lu à l'Institut le 2 février 1824, et *Mémoires de l'Académie des Sciences*, t. V, p. 247; 1821-1822.

[1] MASCART. *Electricité et Magnétisme*, 2e édition, p. 205, et MAXWELL. *Traité d'Electricité et de Magnétisme*, § 430.

[2] BETTI. *Leçons sur le potentiel*, p. 377.

[3] F.-O. MOSSOTTI. *Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève*, t. VI, p. 193; 1847, et *Mem. di. Mat. et di. Fis. della Soc. ital. Modena*, 2e série, t. XIV, p. 49; 1850.

[4] CLAUSIUS. *Théor. méc. de la Chaleur*. 2e Partie : *Addition au Mémoire X*, p. 92-94. Traduction Folie.

sentant par K la constante diélectrique du milieu supposé homogène, la formule [1]

$$\frac{K}{K_1} = \frac{K_2 + 2K_1 + 2g(K_2 - K_1)}{K_2 + 2K_1 - g(K_2 - K_1)}. \qquad (6)$$

Si l'on admet que le pouvoir inducteur spécifique des conducteurs est infini, il vient pour $K_2 = \infty$

$$\frac{K}{K_1} = \frac{1 + 2g}{1 - g}. \qquad (I)$$

qui est la relation de Poisson; de même, dans les mêmes conditions, la relation de Betti prend la forme

$$\frac{K}{K_1} = \frac{1}{1 - 3g}. \qquad (II)$$

Afin de soumettre les formules I et II à un contrôle expérimental, l'auteur a déterminé par une méthode précédemment décrite (*Comptes rendus*, 23 juillet 1894), la constante diélectrique de deux lames constituées par un mélange, aussi homogène que possible, de limaille de cuivre et de paraffine. La lame L_1 est formée par 300 gr (34,09 cm³) de cuivre et 400 gr (459,7 cm³) de paraffine : d'où $g = 0{,}06904$; la lame L_2 par 40 gr (4,545 cm³) de cuivre et 242 gr (278,2 cm³) de paraffine : d'où $g = 0{,}01607$. Pour une durée de charge de 0,08 s et des potentiels de charge de 50, 100, 150 éléments Gouy, on a obtenu pour L_1, la valeur $K = 2{,}443$; pour L_2, la valeur $K = 2{,}06$ et pour la paraffine pure, $K_1 = 1{,}95$. On a ainsi tous les éléments de la vérification

	$\frac{K}{K_1}$	$\frac{1+2g}{1-g}$	$\frac{1}{1-3g}$
L_1.	$\frac{2.443}{1.95} = 1.270$	1.222	1.261
L_2.	$\frac{2.06}{1.95} = 1.056$	1.049	1.050

On voit que les formules de Poisson et de Betti conduisent à peu près aux mêmes nombres et concordent également bien avec les résultats expérimentaux.

3. Il n'est peut-être pas inutile de remarquer que K pour L_1 (42 p. 100 de Cu) est plus grand que pour L_2 (14 p. 100 de Cu). Le pouvoir inducteur augmente avec la teneur en cuivre et doit tendre vers l'infini pour une lame entièrement conductrice; or ceci est contraire aux idées de Maxwel : ce physicien, écrivant que, pour un corps imparfaitement isolant, le courant électrique vrai est la somme du courant de conduction et du courant de déplacement, obtient les formules connues [1]

$$u = CH + \frac{K}{4\pi}\frac{dP}{dt}, \qquad \ldots,$$

qui, pour le cas d'un conducteur, exigent $K = 0$, contrairement à la réalité expérimentale. M. Potier a adopté un autre point de vue : en écrivant que la force électro-motrice en un point est égale à la somme des forces électromotrices qui engendrent les courants de conduction et de déplacement, on obtient les relations

$$P = \frac{u}{c} + \frac{4\pi}{K}f, \qquad \ldots,$$

qui, dans le cas d'un conducteur, entrainent la valeur $K = \infty$ et sont, par suite, plus rationnelles que les relations de Maxwell.

(1) MASCART, *loc. cit.*, p. 204, et MAXWELL, *loc. cit.*, § 430.

Sur les déformations électriques des diélectriques solides isotropes;

Par Paul SACERDOTE [2].

« On sait depuis longtemps que, lorsqu'un diélectrique solide devient le siège d'un champ électrique, il se déforme. Exemple : par la charge, la capacité interne et le volume extérieur d'une bouteille de Leyde augmentent, un condensateur cylindrique s'allonge.

» Ces phénomènes ont été étudiés expérimentalement par divers physiciens : Fontana, Volpicelli, Govi, Duter, Righi, Quincke, Korteweg et Julius, Cantone. D'autres ont essayé de prévoir les lois par la théorie : Moutier, Korteweg, Lorberg, Kirchhoff, Rœngt-

(1) POINCARÉ. *Elect. et Optique*. p. 189-190.

(2) *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 282, séance du 31 juillet 1899.

gen, Vaschy, Curie, Duhem. Mais les résultats expérimentaux étaient en contradiction les uns avec les autres sur certains points; il en était de même des résultats théoriques et, en outre, ceux-ci ne s'accordaient pas complètement avec les premiers.

» Dans un Mémoire assez étendu, qui paraîtra prochainement, je me suis proposé :

» 1° D'*établir les formules* des déformations électriques des diélectriques des condensateurs en me basant sur les principes fondamentaux de la conservation de l'énergie et de l'électricité ; d'en dégager les *lois* et d'en déduire les *causes* de ces phénomènes ;

» 2° De montrer que *toutes les divergences* que l'on rencontre dans les travaux expérimentaux et dans les essais de théorie précédemment faits *ne sont dues qu'à des erreurs* et qu'une fois celles-ci rectifiées on retombe toujours sur des résultats en accord avec ma théorie.

» Dans cette théorie, j'introduis, comme cela est *absolument nécessaire*, et on l'a trop souvent oublié, les variations qu'éprouve la constante diélectrique d'un solide primitivement isotrope lorsqu'on le déforme mécaniquement; je définis deux coefficients k_1, k_2 : *coefficients de variation de la constante diélectrique par traction perpendiculaire ou parallèle aux lignes de force, et aussi* $k = 2k_1 + k_2$ *coefficient de variation de la constante diélectrique par traction superficielle uniforme* (¹).

» Les coefficients élastiques de la matière diélectrique interviennent également :

a désignera le coefficient d'allongement longitudinal (inverse du module d'élasticité) ;

σ le coefficient de Poisson ;

$\gamma = 3a\ (1 - 2\sigma)$ le coefficient de compressibilité cubique.

» Voici les principaux résultats auxquels j'arrive :

» 1° Pour les *condensateurs infiniment minces* (au moins pour ceux des formes sphérique ou cylindrique) et pour le *condensateur plan*, on a :

$$\frac{\Delta L}{L} = (a + k_1)\frac{K}{8\pi}\cdot\frac{H^2}{e}, \qquad (I)$$

ou

$$\Delta L = (a + k_1)\frac{K}{8\pi} L \frac{V^2}{e^2}; \qquad (I')$$

$$\frac{\Delta e}{e} = -[a(1 + 2\sigma) - k_2]\frac{K}{8\pi} H^2, \qquad (II)$$

ou

$$\Delta e = -[a(1 + 2\sigma) - k_2]\frac{K}{8\pi}\frac{V^2}{e}; \qquad (II')$$

L désignant la longueur d'une ligne quelconque normale aux lignes de force ;

e l'épaisseur du diélectrique dans la direction de ces lignes de force ;

ΔL, Δe les variations de L, e, qui se produisent quand on charge le condensateur au potentiel V ;

$H = \frac{V}{e}$ est l'intensité du champ électrique créé dans le diélectrique.

» *Et maintenant qu'il est établi* (formule I) *que la dilatation est la même dans toutes les directions perpendiculaires aux lignes de force* (exemple : pour les lignes circulaires et les génératrices d'un cylindre), et la même quelles que soient la *forme* et la *grandeur* du condensateur, il devient évident qu'en désignant par :

U_1 le volume de la cavité du condensateur;

U le volume de la matière diélectrique, on a

$$\left(\frac{\Delta U_1}{U_1}\right) = 3\left(\frac{\Delta L}{L}\right) = 3(a + k_1)\frac{K}{8\pi}H^2, \qquad (III)$$

d'où

$$\Delta U_1 = 3(a + k_1)\frac{K}{8\pi}U_1\frac{V^2}{e^2}; \qquad (III')$$

$$\frac{\Delta U}{U} = 2\left(\frac{\Delta L}{L}\right) + \left(\frac{\Delta e}{e}\right) = \left(\frac{\gamma}{3} + k\right)\frac{K}{8\pi}H^2, \quad (IV)$$

d'où

$$\Delta U = \left(\frac{\gamma}{3} + k\right)\frac{K}{8\pi} S \frac{V^2}{e}, \qquad (IV')$$

formules que j'établis, du reste, directement.

» Ces formules se traduiraient facilement sous forme de *lois simples*,

(¹) Voir à ce sujet : SACERDOTE. *Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 1019, 4 avril 1890. *L'Écl. Élect.*, t. XV, p. 195, 30 avril 1898. Sur les déformations qu'éprouve un diélectrique solide lorsqu'il devient le siège d'un champ électrique.

» 2° Pour les *condensateurs épais* le calcul qui est beaucoup plus difficile, conduit à des formules complexes : *aucune des lois simples ne subsiste*, sauf celle de la proportionnalité des déformations au carré du potentiel.

» 3° Dans ce qui précède, on supposait que les armatures du condensateur subissaient les mêmes déformations que les surfaces diélectriques en contact ; c'est ce qui arrive, par exemple, lorsque les armatures sont formées par la métallisation de la surface même du diélectrique (argentures, feuilles d'étain collées, etc.), ou par des liquides.

» Si les armatures sont indépendantes du diélectrique, dans les formules que l'on obtient, *les termes qui contiennent les coefficients élastiques* (a, σ, γ) *sont complètement différents* de ceux obtenus dans le cas où il y a contact entre les armatures et les diélectrique ; *au contraire, les termes en* k_1 k_2 k *restent toujours les mêmes ;* cela m'amène plus loin à une conclusion importante.

» 4° Je montre ensuite que les *causes* des déformations électriques des diélectriques solides sont de *deux sortes :*

» 1. *Les déformations correspondant aux termes qui contiennent les coefficients élastiques sont simplement des déformations élastiques dues aux forces connues qui agissent sur le diélectrique*, à savoir : les *pressions électrostatiques* (pour les portions de surface où le diélectrique est en contact avec les armatures), auxquelles s'ajoutent les *forces agissant sur un diélectrique non électrisé placé dans un champ* [mises en évidence par les expériences de M. Pellat [1]].

» 2. *Les déformations correspondant aux termes en* k_1 k_2 k *doivent au contraire être attribuées à un changement d'état moléculaire de la matière diélectrique,* corrélatif de la perturbation de l'éther qui constitue la création du champ électrique.

Je signale en passant que, pour les gaz, cette seconde cause subsiste seule et produit la *contraction électrique des gaz*.

» 5° Enfin, si nous nous reportons à notre formule

$$\frac{\Delta L}{L} = (a + k_1)\frac{K}{8\pi}\frac{V^2}{e^2}, \qquad (I)$$

tous les éléments, sauf k_1, en ont été déterminés expérimentalement ; on pourra donc en déduire ce coefficient k_1.

» En utilisant les données de M. Cantone, j'arrive à cette conclusion que k_1 *doit être de l'ordre de* $+1 \times 10^{-12}$ C. G. S.

» Des expériences toutes récentes de M. Ercolini sont venues confirmer qu'en effet k_1 est positif, mais elles n'indiquent pas son ordre de grandeur. »

Contribution à l'étude thermodynamique des piles thermoélectriques ;

Par C. Liebenow [1].

Les auteurs qui ont fait jusqu'à présent l'étude thermodynamique des piles thermoélectriques laissent de côté la conductibilité calorifique du métal (Clausius, Thomson) ou ne lui attribuent qu'un rôle accessoire (Boltzmann).

M. Liebenow part au contraire de l'hypothèse que la tendance que possède la chaleur à passer d'un point chaud à un point froid est susceptible de provoquer des forces électromotrices. Il suppose en outre que forcément dans un métal le courant électrique est accompagné d'un courant calorifique : par suite la chaleur peut être forcée de circuler en sens inverse de la chute de température si on produit dans le métal un courant électrique par une force électromotrice extérieure.

Pour établir les équations, on considère un morceau de métal quelconque, mais de section uniforme : à l'une de ses extrémités on fournit de la chaleur, tandis qu'on en retire de l'autre, la température moyenne du

(1) Pellat. *Annales de Physique et de Chimie*, 7e série, t. IV ; 1895. *L'Écl. Élect.*, t. II, p. 289 et 481, 1895.

(1) *Wied. Ann.*, t. LXVIII, p. 316-324, juin 1899.

métal et la différence des températures aux extrémités demeurant constante. On admet que la force électromotrice ainsi produite ne dépend que de la nature du métal et du rapport des températures terminales.

Pour une petite différence de température dT, le travail maximum qu'on peut obtenir d'une quantité de chaleur Q est égal à :

$$dA = \frac{Q}{T} dT.$$

si la température absolue est T.

Si dA est recueilli sous forme d'énergie électrique,

$$dA = IdE$$

I désignant l'intensité maxima du courant et E la force électromotrice.

Pour déterminer I, supposons les deux extrémités du métal réunies par un fil, qui formera le circuit extérieur : dans ce circuit se trouvera une dynamo dont l'excitation sera réglée de manière qu'elle transforme en énergie électrique précisément la quantité de travail équivalente à la chaleur dégagée dans le circuit extérieur. En appelant r la résistance du métal, cette dernière quantité est égale à I^2r : soit l la longueur du barreau, s sa section et R la résistance spécifique du métal

$$I = \frac{dE}{r}$$

$$dA = I^2r = \frac{(dE)^2}{r} = \frac{l}{sR}(dE)^2.$$

Soit λ la conductibilité calorifique du métal,

$$Q = \lambda dT$$

et si L est la conductibilité spécifique

$$Q = \frac{u}{sL} dT.$$

On déduit de ces deux équations :

$$dE = \pm \sqrt{\frac{RL}{T}}\, dT.$$

En exprimant les forces électromotrices en volts, les quantités de chaleur en petites calories :

$$dE = \pm 2{,}04 \sqrt{\frac{RL}{T}}\, dT.$$

En calculant d'après cette formule la force électromotrice d'un couple bismuth-cuivre, on trouve :

$$\frac{dE}{dT} = 35{,}2 . 10^{-6} \text{ volts}$$

tandis que les mesures donnent 45 à 100 microvolts. Pour le couple fer-cuivre, le nombre calculé 9,3 microvolts est très voisin du nombre observé.

D'autre part, Lorenz a trouvé qu'entre 0° et 100°, le rapport des conductivités calorifique et électrique du cuivre augmente de 1 : 1,358, tandis que pour le fer, il augmente de 1 : 1,53. La force électromotrice du couple fer-cuivre doit donc diminuer quand la température s'élève et tendre vers un point neutre. D'après les données de Wiedemann et Franz, on calcule la température de ce point neutre 150°, tandis qu'Avenarius a trouvé 276°. En partant de ce dernier nombre et faisant le calcul en sens inverse on obtient 137,5 microvolts pour la force électromotrice du couple fer-cuivre à 0° par degré : ce nombre est tout à fait d'accord avec celui que Matthiessen a déterminé pour un couple formé de cuivre électrolytique et de fil clavecin. Au-dessous de 276°, le courant dans le couple fer-cuivre passe du cuivre au fer à travers la soudure chaude : la force électromotrice du cuivre est supérieure dans ce cas à celle du fer : le courant électrique est donc de sens contraire au courant calorifique : l'électricité positive dans ces deux métaux quand la température n'est pas uniforme, tend à se déplacer vers la région chaude. Il en est de même pour tous les autres métaux, car Matthiesen a trouvé pour tous ces métaux reliés au cuivre une force électromotrice plus petite que 137,5 microvolts. Dans le tellure et le sélénium, les deux courants se produisent dans le même sens.

Pour expliquer les phénomènes Peltier et Thomson, il faut admettre que tout courant électrique est forcément accompagné d'un courant calorifique. L'intensité de ce courant calorifique se déduit immédiatement de la formule

$$\mathrm{I}d\mathrm{E} = \pm \frac{1}{0{,}24} \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{T}} d\mathrm{T},$$

en remplaçant I par l'intensité quelconque i :

$$q = \pm 0{,}24\, i\mathrm{T} \frac{d\mathrm{E}}{d\mathrm{T}}$$

Le signe — convient aux métaux, le signe + au sélénium et au tellure.

Dans le cas du cuivre, $q = 0{,}0092$ petite calorie par ampère-seconde.

Si plusieurs métaux se réunissent en un point où la température est T et qu'un courant électrique quelconque d'intensité i se partage entre ces conducteurs, la quantité de chaleur qui se dégagera en ce point pendant une seconde sera :

$$\Delta q = -\, 0{,}24\, \mathrm{T} \Sigma i \frac{d\mathrm{E}}{d\mathrm{T}}$$

la somme Σ étant étendue à tous les métaux. S'il y a deux métaux seulement, cuivre et fer par exemple, et si le courant positif passe du fer au cuivre par la soudure chaude, il y aura d'après cette équation absorption de chaleur à la soudure puisque $\frac{d\mathrm{E}}{d\mathrm{T}}$ est plus grand pour le cuivre que pour le fer. La grandeur de cet effet Peltier ainsi calculée est d'accord avec les résultats expérimentaux de John.

Considérons maintenant un conducteur non fermé sur lui-même : s'il existe dans ce conducteur une chute de température, la chaleur se transporte de la soudure chaude à la soudure froide : par chaque section du conducteur passe la même quantité de chaleur pendant l'unité de temps, jusqu'à ce que le régime stationnaire soit atteint. Si nous faisons abstraction de la chaleur de Joule, et nous considérons le courant calorifique qui produit le maximum d'énergie électrique, nous aurons à l'intérieur du conducteur :

$$\mathrm{Q} = -\, 0{,}24\, \mathrm{IT} \frac{d\mathrm{E}}{d\mathrm{T}}$$

Alors toutes les sections du conducteur ne sont plus traversées par la même quantité de chaleur : cette quantité dépend de la température absolue de la section considérée : la différence des quantités de chaleur qui entrent et sortent par deux sections infiniment voisines est produite ou absorbée par le courant électrique dans la tranche du conducteur comprise entre ces deux sections.

Le courant calorifique n'est plus uniforme dans le conducteur : il se produit un autre courant qui, sans égard à la chute de température et sans influer sur elle, circule dans le conducteur. Si le courant électrique d'intensité maxima I, que peut produire la force électromotrice propre du métal, est forcé par une force électromotrice étrangère de traverser le conducteur en sens inverse, ce courant électrique transportera pendant l'unité de temps de la soudure froide à la soudure chaude exactement autant de chaleur qu'il en passerait de la soudure chaude à la soudure froide pour entretenir le courant dans le sens direct. En d'autres termes, le phénomène est reversible. Le phénomène Thomson ne se produit que du moment où $\frac{d\mathrm{E}}{d\mathrm{T}}$ varie avec la température, mais est ensuite tout à fait analogue au phénomène Peltier. On aura :

$$dq = -\, 0{,}24\, i\mathrm{T} \frac{d^2\mathrm{E}}{d\mathrm{T}^2} d\mathrm{T}$$

Par exemple, pour l'antimoine, en faisant $d\mathrm{T} = 1°$

$$dq = +\, 12.10^{-9} i\mathrm{T}.$$

Or, Batelli a trouvé que, d'une manière générale, le phénomène Thomson était représenté par $ki\mathrm{T}$ et que k pour l'antimoine était égal à 7.10^{-9} du même ordre de grandeur que ci-dessus.

Relativement au signe, il convient de remarquer que la chaleur est *dégagée*, quand le courant électrique passe de la région

chaude à la région froide : comme $\frac{dE}{dT}$ a la plus grande valeur à basse température, la chaleur se déplace dans l'antimoine dans le même sens que l'électricité négative.

Rien ne s'oppose à ce qu'on applique aussi bien aux conducteurs médiocres l'équation thermodynamique

$$\frac{dE}{dT} = \pm 2{,}04 \sqrt{\frac{RL}{T}}$$

R devient alors très grand : L est assez petit mais décroît cependant beaucoup moins que $\frac{R}{T}$: par conséquent, les forces thermoélectriques doivent dans ce cas être beaucoup plus considérables, c'est ce que prouve en effet la grandeur des forces thermoélectriques de la silice, du sélénium et du tellure. Un exemple plus frappant encore est fourni par un grand nombre de cristaux n'appartenant pas au système cubique.

Dans un cristal d'antimoine, les pouvoirs thermoélectriques sont différents dans la direction parallèle à l'axe cristallographique et dans la direction perpendiculaire. Si on réunit deux faces parallèles à ces directions par un fil, ce fil n'est parcouru par aucun courant tant que la température du cristal est uniforme. Mais si on échauffe uniformément le cristal par l'extérieur, il doit se produire un courant, tant que les régions extérieures sont plus chaudes que les régions intérieures pendant le refroidissement le sens du courant doit s'intervertir.

La tourmaline se comporte exactement de même ; comme elle est un très bon isolant, les différences de potentiel peuvent devenir considérables (pyroélectricité).

Dans les isolants, les vibrations qui se produisent quand on frotte deux surfaces l'une contre l'autre paraissent favoriser la séparation des électricités. Si on frotte l'un contre l'autre deux isolants identiques, l'un froid, l'autre chaud, l'expérience montre que le plus chaud s'électrise négativement, conformément au signe du pouvoir thermoélectrique du sélénium et du tellure.

Si les deux substances, non métalliques, sont de nature différente, elles forment un élément thermoélectrique, où les surfaces échauffées par le frottement présentent la soudure chaude : la substances pour laquelle $\frac{dE}{dT}$ est le plus grand doit être positive.

Quand on frotte un isolant avec un métal, le premier doit s'électriser positivement comme le montre en effet l'expérience.

L'air atmosphérique est positif dans les régions supérieures, relativement aux régions inférieures qui sont plus chaudes.

M. L.

Piles thermoélectriques à électrolytes ;

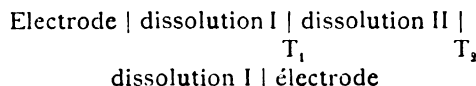
Par W. DUANE [1].

D'après la théorie de Nernst la différence de potentiel au contact entre deux dissolutions de la même substance, dont les concentrations sont inégales, a pour expression :

$$E = \frac{u - v}{u + v} RT \log \frac{c_1}{c_2}.$$

Dans cette équation u et v représentent les vitesses de migration de l'ion positif et de l'ion négatif, c_1 et c_2 les concentrations des deux solutions, R la constante des gaz et T la température absolue.

La force électromotrice d'un élément de pile



serait, d'après cela :

$$E = R\left[\frac{u_1 - v_1}{u_1 + v_1} T_1 - \frac{u_2 - v_2}{u_2 + v_2} T_2\right] \log \frac{c'}{c''}$$

les indices 1 et 2 se rapportant aux deux surfaces de contact : c' et c'' désignent les deux concentrations.

En partant de la même théorie, Planck a trouvé pour la force électromotrice à la sur-

(1) *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 374-402, mai 1898.

face de séparation entre deux dissolutions de même concentration, mais différant par le corps dissous :

$$E = RT \log \frac{u' + v''}{u'' + v'}$$

u', v' se rapportant à l'une des solutions, u'', v'' à l'autre.

Jusqu'ici les expériences effectuées sur ces éléments thermoélectriques ont porté sur des solutions assez concentrées, où la dissociation électrolytique n'est pas complète comme le suppose la théorie.

M. Duane a opéré au contraire sur des solutions étendues, formant un élément de pile selon le schéma de la figure 1.

Fig. 1.

Les trois vases de Bohême A, B, C et le tube E sont remplis de la dissolution I. Le vase A se compose en réalité de deux vases concentriques de diamètres très peu différents, fixés l'un à l'autre par une goutte de cire : la couche d'air qui les sépare empêche les dérivations de courants qui pourraient se produire par dessus le bord humide de A, entre A et C. Le réservoir D renferme la dissolution II. Les tubes *a* et *b*, courbés vers le haut et terminés par un petit trou, le mettent en communication respectivement avec les vases A et B.

Pour empêcher la diffusion quand les éléments ne sont pas en service, on enfonce au dessus de *a* et *b* une capsule retournée : l'air renfermé dans le fond de la capsule est comprimé et refoule les liquides loin de l'ouverture, supprimant ainsi le contact entre eux (fig. 2). Dans les vases A et C plongent des électrodes de mercure recouvert de calomel (fig. 3).

Les deux surfaces de contact dans cet élément de pile sont au voisinage des ouvertures capillaires *a* et *b*. On élève la surface *b* à la température voulue en plongeant le vase B dans un bain d'eau chaude, la température est indiquée par des thermomètres dont le réservoir est aussi près que possible des ouvertures *a* et *b*.

Fig. 2 et 3.

Théoriquement les différences de potentiel entre la dissolution I et les deux électrodes sont de sens contraire et devraient se compenser. En réalité, il est impossible de réaliser deux électrodes tellement identiques que cette compensation soit rigoureuse. Il faut donc, avant les mesures proprement dites, déterminer leur résultante, en reliant A et C par un tube rempli de la dissolution I et séparant les dissolutions en *a* et *b* au moyen des capsules : la force électromotrice de l'élément ainsi constitué est la résultante cherchée.

1° *Les dissolutions renferment le même électrolyte.* — Pour les deux combinaisons

KCl 1/100 normal | KCl 1/10 normal
NaCl 1/100 » | KCl 1/10 »

les écarts entre les nombres observés et les nombres calculés sont en moyenne de 7 à 8 p. 100 ; mais ils atteignent 15 p. 100 dans trois mesures sur quatre relatives au second élément.

Pour calculer la force électromotrice théorique, on se sert des équations :

$$u = \lambda (1 - n)$$
$$v = \lambda n$$

qui relient u et v à la conductibilité moléculaire λ et au nombre de transport n correspondant à une dilution infinie. On admet en outre que le nombre de transport n est une fonction linéaire de la température,

$$n_1 = n\,[1 + \alpha\,(t_1 - 18)].$$

La formule ci-dessus devient alors :

$$E = R\left\{(T_1 - T_2)(1 - 2n) - 2n\alpha\,[T_1\,(t_1 - 18) - T_2\,(t_2 - 18)]\right\}\log\frac{c'}{c''}.$$

Il est aisé de voir qu'une erreur sur la valeur de α entraînera une erreur considérable sur E. Il est donc préférable de faire autrement la vérification, en calculant α d'après la force électromotrice observée et cherchant si la valeur de α ainsi calculée est acceptable. Ces valeurs diffèrent de celles qui ont été déterminées directement de quantités dont la grandeur ne dépasse pas celle des erreurs d'expérience.

Dans la combinaison



HCl 0,114 normal | HCl 0,009 normal.

la force électromotrice est, par rapport à la différence de température, de sens contraire à ce qu'elle est dans le cas des chlorures : de plus cette force électromotrice passe par un maximum très net quand la température de la surface chaude atteint 50°.

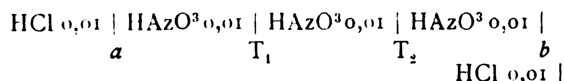
Ces deux phénomènes sont d'accord avec la théorie. Le maximum aura lieu quand la dérivée

$$\frac{dE}{dT_2} = R\left[1 - 2n_2 - 2T_2\frac{dn_2}{dT_2}\right]\log\frac{c'}{c''}$$

s'annulera : or cette dérivée sera nulle quand :

$$T_2 = \frac{1 - 2n_2}{2\,\frac{dn_2}{dT_2}} = \frac{1 - 2n_2}{2\alpha} = 324^\circ \text{ ou } t = 51^\circ.$$

Quand les dissolutions renferment un ion autre que le chlore, les électrodes au calomel ne peuvent plus servir et il faut modifier l'arrangement. Par exemple, pour l'acide azotique, on prendra :



HCl 0,01 | HAzO³ 0,01 | HAzO³ 0,01 | HAzO³ 0,01 | HCl 0,01 |
a T₁ T₂ b

Le système tout entier est à la température T_1, sauf la surface de contact T_2 et son voisinage immédiat. Les dissolutions chlorhydriques extrêmes sont reliées aux appareils par l'intermédiaire d'électrodes au calomel.

Les forces électromotrices observées vérifient d'une manière satisfaisante la théorie.

2° *Éléments renfermant deux électrolytes différents.* — Les couples qui ont été étudiés ont : HCl|NaCl, 0,05 normal ; id. 0,02 normal ; KCl|NaOH, 0.02 normal ; HCl|KCl, 0,02 normal ; NaCl|NaOH, 0,02 normal ; NaCl|HAzO³, 0,02 normal.

Les forces électromotrices mesurées pour ces couples n'ont aucun rapport avec les forces électromotrices calculées d'après l'équation de Planck. Ce désaccord provient sans doute de ce que cette équation ne tient pas compte des forces électromotrices qui prennent naissance dans les dissolutions dont la température n'est pas uniforme (effet Thomson).

Supposons que la dissolution soit renfermée dans un tube cylindrique dont l'axe sera l'axe des x. Soient p la pression osmotique, c la concentration, V le potentiel électrique, T la température absolue, toutes grandeurs qui seront fonction seulement du temps et de la variable x. D'après la théorie de Nernst, l'équation du mouvement des ions sera :

$$u\left(\frac{dp}{dx} + c\,\frac{dV}{dx}\right) = v\left(\frac{dp}{dx} - c\,\frac{dV}{dx}\right) \qquad (1)$$

d'où :

$$\frac{dV}{dx} = -\frac{u - v}{c\,(u + v)}\,\frac{dp}{dx} = -\frac{1 - 2n}{c}\,\frac{dp}{dx}$$

Si c est constant :

$$p = cRT$$
$$\frac{dp}{dx} = cR\,\frac{dT}{dx}$$

et par conséquent :

$$\frac{dV}{dx} = -(1-2n)R\frac{dT}{dx}$$

soit, en intégrant :

$$E = V_2 - V_1 = (1-2n)R(t_1-t_2) + Rn\alpha[(t_2-18)^2 - (t_1-18)^2] \quad (2).$$

Les forces électromotrices calculées par cette formule ne suffisent pas à rendre compte de l'écart signalé ci-dessus. Cependant, en modifiant légèrement la théorie, on obtient une explication satisfaisante. Nernst a admis que, en dehors de la pression osmotique et des forces électriques, les ions étaient soumis encore à des forces $K'\frac{dT}{dx}$, $K''\frac{dT}{dx}$ proportionnelles à la vitesse de variation de la température le long de l'axe des x. En introduisant les termes correspondants dans l'équation (1) et négligeant le coefficient de température α du nombre de transport n, on obtient :

$$E = [(1-2n)R - (1-2n)(k'+nk'')](t_2-t_1). \quad (3)$$

Quant à ces nouvelles forces, elles se font équilibre tant que la température et la pression sont uniformes dans la dissolution : mais si la température varie en un point quelconque, les forces changent en ce point et l'équilibre est détruit. Il faudrait donc considérer ces forces comme celles qui déterminent, au moins en partie, la répartition d'une substance dissoute entre deux régions de la dissolution dont les températures sont inégales.

Si ces hypothèses sont exactes, les forces électromotrices doivent être proportionnelles à la différence des températures et indépendantes de la concentration : ces conséquences sont conformes aux faits expérimentaux.

En même temps la considération de ces forces rend compte d'autres phénomènes déjà connus, le phénomène de Soret [1] par exemple.

[1] Le phénomène de Soret consiste dans le transport du sel dissous entre deux régions d'une dissolution maintenues à des températures différentes.

Dans le tube que nous avons envisagé ci-dessus, les nombres des ions positifs et négatifs qui traversent, pendant l'unité de temps, une section du tube *égale à l'unité de surface* sont égaux respectivement à :

$$-uS\left[\frac{dp}{dx} + c\frac{dV}{dx} - k'c\frac{dT}{dx}\right] \quad (4)$$

et

$$-vS\left[\frac{dp}{dx} - c\frac{dV}{dx} - k''c\frac{dT}{dx}\right]$$

Si I est la densité du courant à travers l'électrolyte (supposé formé de deux ions monovalents), l'équation du mouvement des ions sera :

$$I = -\varepsilon u\left[\frac{dp}{dx} + c\frac{dV}{dx} - ck'\frac{dT}{dx}\right] + \varepsilon v\left[\frac{dp}{dx} - c\frac{dV}{dx} - k''c\frac{dT}{dx}\right] \quad (5)$$
$$= -\varepsilon\left[(u-v)\frac{dp}{dx} + c(u+v)\frac{dV}{dx} - c(uk'-vk'')\frac{dT}{dx}\right],$$

où ε représente la charge d'une molécule-grammes.

S'il s'agit simplement du phénomène de Soret, il n'y a pas de courant ; donc $I = 0$ et :

$$\frac{dp}{dx} + c\frac{dV}{dx} - ck'\frac{dT}{dx} = 0 \quad (6)$$
$$\frac{dp}{dx} - c\frac{dV}{dx} - ck''\frac{dT}{dx} = 0,$$

équations dont on déduit, en les additionnant membre à membre :

$$2\frac{dp}{dx} - c(k'+k'')\frac{dT}{dx} = 0.$$

En rapprochant cette équation de la relation :

$$p = cRT$$

et l'intégrant d'une extrémité à l'autre du tube, on trouve :

$$\log\frac{c_2T_2}{c_1T_1} = \frac{k'+k''}{2R}\log\frac{T_2}{T_1}.$$

Le rapport $c_2 : c_1$ ne peut donc être égal

à : T_1 T_2 si $k'+k''$ est différent de o. Or d'après les mesures d'Arrhénius, ces deux rapports ne sont pas égaux, ce qui constitue un argument de plus en faveur de la théorie de Nernst. Le rapport $\frac{c_2}{c_1}$ doit être indépendant des valeurs absolues de c_1 et de c_2, conséquence qui se vérifie expérimentalement, au moins pour les électrolytes binaires complètement dissociés.

Des équations (6) ci-dessus, on tire aisément la valeur de la force électromotrice due à la chute de température : par soustraction :

$$2\frac{dV}{dx} - (k' - k'')\frac{dT}{dx} = 0$$

ou en intégrant :

$$V_2 - V_1 = \frac{k' - k''}{2}(T_2 - T_1). \qquad (7)$$

La diffusion sera calculée sans difficulté : la somme des ions positifs ou des ions négatifs qui traversent une section du tube a pour valeur :

$$S_p = -u\left[\frac{dp}{dx} + c\frac{dV}{dx} - ck'\frac{dT}{dx}\right] \qquad (8)$$

ou

$$S_n = -v\left[\frac{dp}{dx} - c\frac{dV}{dx} - ck''\frac{dT}{dx}\right]$$

d'où :

$$(u+v)S_p = (u+v)S_n = -uv\left[2\frac{dp}{dx} - (k' + k'')\frac{dT}{dx}\right]. \qquad (9)$$

En remarquant que :

$$\frac{dp}{dx} = cR\frac{dT}{dx} + RT\frac{dc}{dx}$$

il vient :

$$S_p = S_n = -\frac{uvc}{u+v}[2R - (k' + k'')]\frac{dT}{dx} - \frac{2RTuv}{u+v}\frac{dc}{dx}. \qquad (10)$$

Dans le cas le plus général, le courant qui traverse l'électrolyte a une densité finie I, l'équation (5) ne se simplifie plus : en divisant les deux membres par $\varepsilon(u+v)c$, on obtient :

$$\frac{I}{\varepsilon(u+v)c} = -\frac{dV}{dx} - \frac{u-v}{c(u+v)}\frac{dp}{dx} + \frac{uk' - vk''}{u+v}\frac{dT}{dx}$$
$$= -\frac{dV}{dx} - \frac{1-2n}{c}\frac{dp}{dx} + [(1-n)k' - nk'']\frac{dT}{dx}.$$

Si nous supposons la concentration constante :

$$\frac{I}{\varepsilon(u+v)c} = -\frac{dV}{dx} - [(1-2n)R - (1-n)k' + nk'']\frac{dT}{dx}.$$

D'après cette formule, on voit qu'en dehors de la force électromotrice provenant de l'électricité libre, $-\frac{dV}{dx}$, il y en a une autre dépendant de la chute de température, à laquelle elle est proportionnelle.

L'énergie électrique cédée à l'électrolyte est par unité de temps et par unité de volume :

$$-I\frac{dV}{dx} = \frac{I^2}{\varepsilon(u+v)c} + I[(1-2n)R - (1-n)k' + nk'']\frac{dT}{dx}.$$

Le premier terme du second membre représente la chaleur de Joule, le second terme correspond au phénomène observé par M. Bagard. En intégrant ce dernier terme sur toute la longueur du tube, on obtient :

$$I[(1-2n)R - (1-n)k' + nk''](T_2 - T_1)$$

ce qui représente la quantité d'énergie qui, en dehors de la chaleur de Joule, est transformée en chaleur pendant l'unité de temps : peut-être une partie de cette énergie est-elle transformée aussi en énergie chimique ou inversement.

Dans le cas général, on ne peut faire l'intégration que si c et T sont des fonctions connues de x; la différence de potentiel thermoélectrique dépend alors non seulement des valeurs de la température aux extrémités du tube, mais aussi des valeurs intermédiaires.

Quant à la diffusion, on peut encore la calculer en partant des équations (9) et tenant compte de la relation :

$$S_p - S_n = \frac{I}{\varepsilon}$$

on trouve :

$$N = S_p + S_n = -\frac{2uv}{u+v}\left[2\frac{dp}{dx} - c(k'+k'')\frac{dT}{dx}\right] + \frac{u-v}{u+v}\frac{I}{\varepsilon}$$

$$= -\frac{2uvc}{u+v}[2R - (k'+k'')]\frac{dT}{dx} - \frac{4uv}{u+v}RI\frac{dc}{dx} + \frac{u-v}{u+v}\frac{I}{\varepsilon}.$$

La même théorie pourrait s'appliquer à un nombre quelconque de substances : il suffirait de remplacer up, vp par

$$U = \Sigma u_1 p_1$$
$$V = \Sigma v_1 p'_1.$$

M. L.

CHRONIQUE

État actuel de l'industrie du zinc électrolytique en Allemagne. — Voici quelques renseignements sur ce sujet, d'après l'*Elektrochemische Zeitschrift*, t. VI, p. 99, août 1899.

I. — La préparation du zinc par voie électrolytique se développe peu ; les procédés sont au nombre de trois.

Minerai de Broken-Hill. — Ce minerai contient 30 p. 100 de plomb, 30 p. 100 de zinc alliés à du soufre et des traces d'argent. L'extraction des trois métaux par les procédés métallurgiques ordinaires serait coûteuse. On emploie pour retirer le zinc la méthode de Ashcroft ; le minerai est concassé, grillé, lessivé dans une solution de chlorure ou de sulfate de fer : le zinc se dissout, l'oxyde de fer se précipite. Les bacs à électrolyse sont cloisonnés, la solution est envoyée dans les compartiments correspondant aux cathodes et y abandonne un tiers du zinc contenu, puis passe dans les compartiments des anodes : le premier tiers se compose d'électrodes en fer, le reste d'électrodes en charbon. Au début, il se produit du bisulfite de fer ; ce dernier, du côté des électrodes en charbon, se transforme en sulfate qui sert de nouveau au lessivage du minerai. Inconvénients de la méthode : il faut de bons diaphragmes, et la précipitation de l'oxyde de fer oblige à des arrêts.

Méthode Siemens et Halske. — Cette méthode ressemble beaucoup à la précédente ; on lessive à l'acide sulfurique étendu ou avec une solution acide de sulfate de zinc. La solution concentrée est électrolysée dans une cuve en bois séparée en deux parties par une mince cloison de bois. Les anodes sont en plomb, les cathodes en zinc. Dès que la solution renferme plus de 10 p. 100 d'acide libre, on la fait repasser dans les cuves à lessiver.

Méthode de Dieffenbach. — Le minerai traité est une pyrite contenant du zinc ; on la soumet au grillage et on lessive avec une solution de chlorure de zinc ; on électrolyse dans des bacs spéciaux. Ce procédé employé à Duisburg fournit mensuellement 90 tonnes de métal.

II. — *Galvanisation.* — Le procédé Cowper Coles appartient à un syndicat. En Allemagne, il y a deux applications, l'une faite par Alexander à Rothenfeld et l'autre par Richter à Witkowitch.

Les précipités à Rothenfeld sont composés d'un alliage de zinc, d'aluminium et de magnésium. Dans toutes les méthodes, l'objet à galvaniser sert de cathode et est plongé dans une dissolution de sulfate de zinc. Les difficultés proviennent de ce que le précipité de zinc est spongieux ; pour obtenir un dépôt homogène et adhérent, il faut régler avec soin l'intensité du courant, la composition du bain, sa teneur en acide, sa concentration.

Pour précipiter 1 tonne de zinc, quand l'électrolyte est une solution de sulfate de zinc, la quantité d'énergie théorique est 2619 chevaux-heure électriques. Si on compte le cheval à raison de 0,105 fr (prix au Niagara et à Neuhausen), cela fait, par tonne, 27,40 fr. Dans le raffinage électrolytique du cuivre, le rendement, quant à l'énergie électrique, est environ 33 p. 100, on ne dépasserait pas ce chiffre avec le zinc. Pour produire une tonne de zinc, on dépensera donc avec une source d'énergie hydraulique :

$$\frac{27{,}40 \times 100}{33} = 83 \text{ fr.}$$

Si on ajoute à ce chiffre les salaires, les frais d'entretien, d'amortissement, de licence et d'administration, il ne reste pas grand bénéfice.

J. G.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XX. Samedi 23 Septembre 1899 6e Année. — N° 39

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LA TRANSFORMATION DES RAYONS X PAR LA MATIÈRE

DE LA MANIÈRE DONT SE COMPORTENT LES CORPS DANS CETTE TRANSFORMATION

INTRODUCTION

De tous les phénomènes auxquels donnent lieu les radiations lumineuses, on n'a pu jusqu'ici constater avec les rayons Rœntgen autre chose qu'une dissémination de ces rayons par les corps frappés par eux. Ce phénomène qui, par cela même, présentait un grand intérêt a acquis une importance encore plus considérable depuis qu'on a démontré que les rayons X frappant un corps donnent naissance à de nouvelles radiations, souvent très différentes par leurs propriétés des radiations incidentes.

Quand il publia son troisième mémoire, Rœntgen soupçonnait l'existence d'une telle transformation, car il posait, sans d'ailleurs la résoudre, la question suivante : « Les rayons qui tombent sur un corps font-ils naître des rayons de même nature ? En d'autres termes, est-ce dans un phénomène analogue à la réflexion diffuse ou à la fluorescence qu'on doit chercher l'origine de ces rayons [1] ? »

D'autre part, dans des recherches antérieures, Sella et Majorana [2] avaient déjà remarqué les effets électriques des rayons diffusés par les corps ; de plus, Imbert et Bertin-Sans [3] avaient, à la même époque, découvert le principe fondamental qui plus tard a servi de démonstration à l'existence de la transformation même, c'est-à-dire la différente puissance de pénétration d'un faisceau disséminé par différents corps.

Ce n'est cependant qu'en juillet 1897 que les recherches sur cette transformation ont été entreprises par M. Sagnac, en France [4], et par nous, en Italie.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 158, 17 juillet 1897.

[2] *Rendiconti Lincei*, 16 février et 1er mars 1896; *L'Éclairage Electrique*, t. X, p. 35.

[3] *Comptes rendus*, 2 mars 1896 ; *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 512.

[4] *Comptes rendus*, 23 juillet 1897.

I. — Par la date de sa première publication sur ce sujet, M. Sagnac s'est assuré de la priorité de la constatation du phénomène fondamental de la transformation des rayons X ; toutefois il ne paraît être arrivé à des conclusions vraiment générales qu'en mars 1898 [1], époque où nous-mêmes avons publié [2] les conclusions de l'étude sur la diffusion des rayons X, étude que nous poursuivions en même temps que lui et dont le début remontait aux premiers mois de 1896 [3].

Nos conclusions diffèrent sur bien des points de celles de M. Sagnac. Nos expériences nous ont, en effet, conduits à admettre que certains corps peuvent être considérés comme simples diffuseurs, d'autres, au contraire, surtout comme transformateurs ; d'autres, enfin, qui agissent à la fois comme transformateurs et comme diffuseurs. Ces considérations ont motivé notre proposition de diviser les corps en trois groupes : deux, B et A, correspondant aux extrêmes et un autre A-B pour les intermédiaires. Nous obtenions ainsi une échelle unique dans laquelle la distribution des corps semblait être réglée par leur densité.

M. Sagnac, au contraire, établissait que le faisceau diffusé est, en tous cas, différent du faisceau de rayons X incidents, ce qui revient à dire que la transformation a toujours lieu, quelle que soit la nature du corps. Pour lui, la diffusion des rayons X n'existe pas ; tous les corps sont des transformateurs. Cette transformation serait caractérisée non seulement par les diverses puissances de pénétration des rayons diffusés, mais aussi par les propriétés absorbantes de l'air, lesquelles croissent avec la profondeur de la transformation. Même dans un faisceau transmis à travers un corps quelconque, on obtiendrait des rayons transformés; mélangés toutefois, mais dans ce cas seulement, à des rayons X inaltérés.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 466, 12 mars 1898.
(2) *Rendiconti Lincei*, 20 février et 3 avril 1898; *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 66 et p. 72, 14 janvier 1899.
(3) *Ibid.*, 26 avril 1896.

Ce sont les idées générales qui ressortent de l'ensemble des publications faites sur ce sujet par M. Sagnac, surtout de son dernier article qui a été récemment publié dans ce journal [1] en même temps que la traduction de nos dernières notes sur le même sujet.

II. — Dans cet article, M. Sagnac discute la justesse de nos conclusions fondamentales et leur oppose les siennes. Il nous a paru nécessaire de répondre aux observations que M. Sagnac a cru devoir faire sur quelques-unes de nos expériences, et en même temps montrer que nos premières conclusions se trouvent confirmées par les résultats d'expériences inédites, les unes faites depuis quelque temps déjà, les autres exécutées pour la circonstance. C'est ce que nous proposons de faire dans le présent article.

AVANTAGES DE NOS MÉTHODES

III. — Tout d'abord, jetons un coup d'œil sur les méthodes employées par M. Sagnac et par nous pour examiner la faisceau disséminé par les différents corps.

Ainsi que M. Sagnac, nous avons constaté que l'écran fluorescent, la plaque photographique et l'électroscope ne s'adaptent pas de la même façon à l'étude des rayons transformés. Dans nos recherches, nous avons préféré la méthode photographique pour les raisons suivantes :

1° Le faisceau à étudier peut être amené intact sur la couche sensible directement, tandis qu'avec la méthode électroscopique, comme il faut fermer le champ du conducteur chargé, il est indispensable de filtrer les radiations diffusées à travers un milieu absorbant, du moins, à travers une feuille d'aluminium battu.

2° La méthode photographique a permis plus facilement que les deux autres, d'établir

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 41, 14 janvier 1899. Voir aussi *Journal de Physique*, février 1899.

des dispositifs à l'abri de toutes diffusions étrangères (¹).

3° Il est possible avec nos dispositifs de procéder *simultanément* à l'examen de plusieurs faisceaux diffusés, ce qui écarte dans les comparaisons toute erreur résultant des variations de la source des rayons X.

4° La disposition que nous avons adoptée permet d'atteindre un but que la méthode électrique n'atteint pas : nos négatifs enregistrent simultanément et distinctement l'*entité* et la *nature* du faisceau diffusé par un corps ; l'entité résulte de l'opacité du fond de la plaque sensible et la nature de l'opacité relative des corps composant l'échelle de transparence.

5° Enfin, en faisant intervenir l'action radiographique pendant un temps suffisamment long, on peut obtenir, même dans les cas où cette action est très faible, des épreuves extrêmement nettes permettant d'en tirer des résultats d'une rigoureuse exactitude (²).

Ce qui précède ne s'applique d'ailleurs qu'à la valeur générale du procédé. Quant au degré de précision qu'il est possible d'atteindre dans les observations, il est tout d'abord évident qu'il doit être bien minime avec la méthode fluoroscopique en raison des erreurs inhérentes aux observations photométriques. Mais plus loin (§§ VII, VIII et IX), nous verrons aussi que la méthode électroscopique ne l'emporte pas sur la méthode photographique (ainsi qu'on pourrait le prévoir et comme M. Sagnac l'affirme) au moins pour les recherches dont il s'agit ici.

SUR L'EXISTENCE DE LA TRANSFORMATION PAR LE CORPS LÉGER

IV. — Dans sa critique, M. Sagnac, sans avoir cependant répété nos expériences à l'aide du dispositif et des corps qui nous ont servi de la façon minutieusement décrite dans nos notes, qualifie nos expériences de « trop peu exactes ». Cette assertion nous semble d'autant plus hasardée que ses propres expériences ne comprennent pas toutes les nôtres. Ainsi, par exemple, il n'a jamais expérimenté avec des liquides (¹), il n'a jamais non plus fait emploi de corps en blocs ou pulvérulents (²), ni des corps composés tels que les oxydes, les sulfates, etc. Il a de la sorte écarté des familles entières de substances et ne peut, par conséquent, prétendre émettre des conclusions générales.

Mais il est à remarquer, en outre, que M. Sagnac n'a pas encore, par son expérience fondamentale, démontré l'existence de la transformation avec les corps de faible densité, que nous rangeons dans le groupe B (diffuseurs simples), et qu'il n'a mis en évidence cette transformation qu'avec des corps du type A (corps transformateurs). Cela devait être pour lui la voie la plus sûre pour arriver à son but.

A la vérité, en février 1898, M. Sagnac a dit avoir pu constater la transformation même dans l'air, corps qui, suivant nous, appartient sans contredit au type B, c'est-à-dire qu'il agit comme un simple diffuseur des rayons X. Mais, outre que ce résultat est contraire à celui auquel nos recherches nous ont conduits (³), il y a lieu de faire observer que d'après notre critique regardant les probables influences étrangères dans son dispo-

(¹) Dans des essais avec le fluoroscope, nous avons par exemple constaté une assez sensible influence du corps de l'expérimentateur.

(²) Cet avantage est important car dans certaines expériences, par exemple dans notre expérience relative à la diffusion par l'air, où la durée de pose a atteint quatre heures. (*Rendiconti Lincei*, 20 février 1898.)

(¹) Il est vrai qu'il s'est servi du mercure, mais seulement dans le but de chercher une réflexion régulière (*L'Éclairage Électrique*, 12 mars 1898, p. 469).

(²) M. Sagnac, pour réclamer une priorité, affirme qu'une poudre et une surface rugueuse doivent s'équivaloir dans le phénomène de la diffusion. Ce n'est pas, en général, exact, et ici en particulier; car chaque grain de poudre est enveloppé d'une atmosphère gazeuse qui devrait, d'après les idées qu'il émet, donner lieu à une très notable absorption des rayons transformés : car aussi dans la dissémination ce n'est pas seulement la superficie qui est affectée, mais une couche d'une épaisseur plus ou moins grande et qui peut atteindre, comme pour les corps du type B, jusqu'à plusieurs centimètres.

(³) *Rendiconti Lincei*, p. 210, 3 avril 1898.

sitif, il l'a corrigé suivant nos indications [1]; toutefois il ne se donne pas la peine de répéter avec le dispositif amélioré l'expérience fondamentale pour l'air, mais il l'emploie seulement prur la dissémination des corps solides [2] !

M. Sagnac avait aujourd'hui d'autant plus besoin de confirmer le résultat de son expérience avec l'air, qu'il ne s'accorde pas avec les résultats des recherches de M. Hurmurzescu [3], qui a expérimenté aussi avec la méthode électrique et est arrivé à cette conclusion que la transformation relative des corps semble être indépendante de la nature du gaz ambiant, ce qui ne pourrait avoir lieu si le gaz intervenait avec une action transformatrice à lui propre.

V. — D'après ce qui précède, il ne nous semble pas que M. Sagnac puisse avoir contre nos conclusions des arguments décisifs. Nous, au contraire, en dehors des nombreux faits qui nous ont portés à affirmer l'existence d'un groupe B de corps agissant comme simples diffuseurs de rayons X, nous avons aujourd'hui de nouvelles raisons, déduites de l'expérience, d'affirmer que avec les corps de ce groupe ne réussissent pas les preuves fondamentales de la transformation.

Remarquons en passant que les cinq expériences que M. Sagnac cite dans sa note [4] comme démontrant la transformation ne sont en somme que diverses manières d'observer un même fait que nous pouvons énoncer ainsi : « L'ordre de succession des corps qui reçoivent un faisceau de rayons X, influe sur la propriété du faisceau final (diffusé, transmis ou transformé) et d'une façon que l'absorption élective de ces corps ne suffit pas à expliquer ». M. Sagnac n'avait donc pas lieu de nous reprocher de n'avoir relevé parmi ses expériences qu'une seule prouvant la transformation. Nous estimions d'ailleurs cette seule expérience comme véritablement décisive, toutes les autres étant superflues, et M. Sagnac lui-même reconnaît qu'elle est *la plus simple et la plus importante* [1] et pour cette raison il l'utilisa uniquement quand il chercha à déterminer avec précision le degré de transformation des rayons disséminés [2]. D'ailleurs, les analogies de l'optique peuvent suggérer bien d'autres méthodes aptes à mettre en évidence, plus ou moins directement, l'existence de la transformation.

Cela dit, nous répétons que les preuves de la transformation, déjà douteuses avec l'aluminium, sont *nettement négatives* avec le carton, le bois, etc. De plus, les couples carton-ébonite, ébonite-paraffine et autres analogues du type B, ne donnent *jamais*, par transparence, une différence d'entité ou de qualité, quand on invertit la position des deux substances sur le trajet du faisceau de rayons X, même en faisant varier les épaisseurs entre de larges limites. Les rayons diffusés de deux quelconques des corps du type B, ne décèlent jamais, à intensités égales, un pouvoir de pénétration différent pour les éléments d'une même échelle de transparence dont ils font partie. On obtient un résultat analogue en invertissant l'ordre des diffuseurs successifs pour observer les rayons tertiaires.

Inversement, les différences se manifestent *toujours* quand, opérant avec les mêmes dispositifs, on emploie des couples formés de corps du type A, ou un de ces derniers accouplé à un corps du type B, ainsi que M. Sagnac le *fait toujours*.

Ces résultats, obtenus dès nos premières recherches ont été démontrés par nous d'abord avec la méthode fluoroscopique, méthode que M. Sagnac reconnaît très sensible,

---

(1) Cf. la figure 1 de la Note *Comptes rendus*, 14 février 1898 (ou même figure 17 *Éclairage Électrique*, mars 1898), avec la figure 5 de la Note parue dans le *Journal de Physique*, février 1899.

(2) *Journal de Physique*, février 1899.

(3) *L'Éclairage Électrique*, 20 août 1898.

(4) *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 46, 14 janvier 1899.

(1) *L'Éclairage Électrique*, 14 janvier 1899, p. 46.

(2) *Comptes rendus*, 26 février 1899.

surtout pour les rayons peu transformés (1), puis définitivement à l'aide de la photographie, en opérant avec le dispositif de la figure 1 de notre seconde note, dans lequel nous avons substitué les couples invertis aux diffuseurs simples R et R' (2).

Il convient de remarquer que ce procédé permet d'opérer avec les deux couples *simultanément*, tandis que le procédé électrique ne permet d'opérer que successivement. Notre procédé offre donc plus de garantie que ce dernier pour la comparaison des résultats. De plus il permet de relever des nuances que tout autre moyen laisserait échapper, lorsque la transformation est très faible.

Comment alors peut-on admettre qu'il y ait transformation par les corps légers ?

VI. — Considérant les expériences faites par M. Hurmuzescu avec des tubes très durs et dans lesquelles paraissent s'effacer les différences entre les corps relatives au pouvoir de transformation des rayons X, M. Sagnac semble vouloir en tirer un argument contre nos idées.

En lisant le compte rendu des travaux de M. Hurmuzescu (3) nous avons en vain cherché une affirmation générale bien nette sur ce point. En tout cas, il est cependant facile de comprendre que l'existence d'un tel cas limite, logiquement acceptable du reste, pourrait, non pas détruire mais *compléter* notre classification et nos *idées*. En effet, dans ces conditions d'extrême pénétration du faisceau des rayons X, tous les corps ne pourraient peut-être appartenir à ce type B, dont M. Sagnac semble vouloir nous contester l'existence ?

CRITIQUE DES EXPÉRIENCES DE M. SAGNAC

VII. — Ce qui précède peut être considéré comme une confirmation directe de nos idées. Discutons maintenant si les expériences que M. Sagnac nous oppose, ont vraiment un si haut degré de précision.

M. Sagnac a toujours recours, comme preuve décisive de la transformation, au fait constaté par lui, que le faisceau disséminé par un corps est, quand on interpose une lame sur le chemin des rayons, diffèrent suivant que cette lame est placée avant ou après le corps disséminateur. Or, ce procédé ne nous semble pas rigoureusement exact, et cela pour les raisons suivantes :

α. Le transport de la lame absorbante du faisceau incident au faisceau disséminé implique un changement dans les éléments géométriques de l'expérience qui réduit la rigueur de la comparaison. En effet, l'incidence moyenne du faisceau sur la lame ne peut être la même dans les deux cas puisque la source des rayons transformés a une forme différente de celle des rayons X ; en outre, la première est simple tandis que la seconde est multiple.

β. Si on admet avec M. Sagnac que la transformation se produit avec tous les corps, l'écran filtrant exercera une influence par sa transformation même. Quand on place cet écran dans le faisceau des rayons X, les rayons transformés qu'il transmet donnent naissance à des rayons tertiaires en rencontrant le diffuseur. Quand l'écran filtrant est au contraire traversé par le faisceau disséminé par le diffuseur, il donne origine à des rayons tertiaires de transmission. Ces rayons tertiaires sont différents dans les deux cas à cause précisément de l'impermutabilité des corps tant dans la diffusion que dans la transmission. En outre ces deux faisceaux de rayons tertiaires naissent à des distances différentes dans les deux cas, c'est-à-dire qu'on change les distances relatives des deux sources à l'électroscope.

γ. La plaque d'aluminium de l'électroscope produit, suivant les idées de M. Sagnac, un faisceau de rayons *quaternaires*, dont l'entité et la nature sont différentes d'un corps diffuseur à un autre, et qui, pour un même corps, varient suivant la position de l'écran filtrant

(1) *L'Éclairage Électrique*, 14 janvier 1899, p. 45.

(2) *L'Éclairage Électrique*, 14 janvier 1899, page 73.

(3) *L'Éclairage Électrique*, t. XV, p. 166 et t. XVI, p. 314

6. Si nous admettons avec M. Sagnac que l'air a lui-même un pouvoir de transformation décelable à l'électroscope, l'air apporte un élément perturbateur qui, dans chaque expérience, influe sur les résultats ; et cela aussi diversement que sont diverses les positions des corps solides.

Il ne faut cependant conclure de ces objections que nous considérons comme suspects *tous* les résultats obtenus par ce procédé. Nous voulons seulement faire voir qu'il peut naître des doutes sur leur exactitude dans le cas de corps ayant de très faibles pouvoirs de transformation ; ce qui arriverait précisément avec les corps du groupe B.

Nous ajouterons encore que d'après le professeur Righi (¹) la méthode électroscopique présente des singularités multiples et de nombreuses difficultés et que tout récemment M. Hurmuzescu (²) déclarait que les plus grandes précautions devaient être prises en expérimentant avec cette méthode.

VIII. — Mais ce n'est pas seulement le dispositif employé par M. Sagnac qui soit sujet à critique. La manière dont il définit le coefficient de transformation des divers corps donne également matière à discussion.

Il importe d'abord d'établir (voir n° VII) que ce coefficient dépend de la nature du corps employé dans les deux filtrations successives (³).

En outre, ce coefficient, défini par M. Sagnac comme le rapport des temps de décharge de l'électroscope correspondants aux deux positions de la lame filtrante, représente la mesure d'un effet complexe dû à l'intensité et à la qualité du faisceau disséminé (⁴). Il pourrait donc arriver que pour deux corps M. Sagnac trouvât des coefficients égaux, quand bien même le degré de la transformation serait différent, une intensité plus grande de faisceau disséminé pouvant être compensée par une transformation moindre et vice versa (¹).

Ces considérations suffiraient par elles-mêmes à expliquer la diversité, parfois considérable, des résultats auxquels M. Sagnac est arrivé dans ses recherches successives. Mais il en est une autre :

IX. — Dans les phénomènes de la dissémination, l'épaisseur du corps étudié exerce une influence sur l'entité et la nature du faisceau renvoyé.

Pour un même corps, si l'on opère avec des épaisseurs au-dessous d'une certaine épaisseur *e*, l'intensité du faisceau disséminé croît avec l'épaisseur. Par suite, les expériences faites avec des corps différents ne sont plus comparables, si pour chacun d'eux l'on ne prend une épaisseur égale ou plus grande que *e*. Ce fait pourrait, par exemple, expliquer pourquoi M. Sagnac a toujours trouvé les actions de diffusion plus énergiques avec des corps pesants. Il préfère ces derniers pour ses expériences, tandis que nous, avec de fortes épaisseurs (plusieurs centimètres) de corps légers comme le carton et l'huile d'olive, nous avons pu obtenir des actions égales sinon plus grandes que celles obtenues, toutes choses égales d'ailleurs, avec des métaux. C'est peut-être pour une raison analogue qu'il a cru que les rayons disséminés par certains corps n'agissaient pas d'une façon comparable à celle des rayons incidents (²) ; et aussi qu'antérieurement, il trouva que l'aluminium ne diffusait pas (³), idée dont il est revenu depuis lors.

(¹) *Memorie dell' Acc. di Bologna*, série V, t. VI.

(²) *Comptes rendus*, février 1899.

(³) Le procédé employé par M. Sagnac, en laissant croire que l'écran filtrant agit simplement comme milieu absorbant, implique aussi l'idée qu'il existe des corps qui *n'exercent* aucune action transformatrice sur les rayons X (notre groupe B) !

(⁴) Ce fait s'explique aussi « si l'épaisseur de la plaque filtrante est maintenue invariable ; de même les conditions géométriques de l'expérience, la pression et la nature du gaz ambient, les dimensions de l'électroscope et la nature de ses parois » (Sagnac, *Journal de Physique*, février 1899, p. 71).

(¹) Pour des raisons analogues, n'est guère plus exact le coefficient de transformation défini par M. Hurmuzescu, non pas d'une façon absolue, mais rapport au zinc pris comme type (*Comptes rendus*, février 1899).

(²) *L'Éclairage Électrique*, p. 45, 14 janvier 1899.

(³) *Comptes rendus*, 26 juillet 1897.

M. Hurmuzescu cite du reste des faits qui semblent se rapprocher de cette façon de voir ([1]).

L'épaisseur influe même sur la nature du faisceau. En effet, au fur et à mesure qu'elle augmente, en se maintenant toutefois inférieure à e, le faisceau renvoyé, filtré par une épaisseur croissante de la substance, se dépouille de plus en plus des radiations moins pénétrantes ou plus absorbantes avant de sortir du corps ([2]). Cela revient à dire qu'en augmentant l'épaisseur, des radiations plus pénétrantes viennent s'ajouter au faisceau disséminé et en modifier par suite la composition.

Si l'on désigne par e l'épaisseur de la couche de transformation et par e' celle de la couche de diffusion, (couches différentes au moins pour le groupe A-B), il est clair que, le rapport des intensités des deux faisceaux dépendant de l'épaisseur de la lame avec laquelle on opère, il conviendra d'employer non seulement une épaisseur supérieure à e mais supérieure aussi à e'. Il importe en outre de noter que les valeurs de e et de e' varieront suivant l'état du tube et dans des rapports différents.

Dans les diverses publications faites par M. Sagnac, rien n'autorise à croire que l'auteur ait jamais tenu compte de ce qui vient d'être dit. Au contraire, il est certain que nous, en opérant toujours avec des couches très épaisses, nous nous sommes mis à l'abri de ces causes d'erreur.

X.— Des considérations développées dans les trois précédents paragraphes, il semble plausible de conclure que M. Sagnac ne peut prétendre avoir atteint dans ses expériences cette exactitude qu'il se plait à vouloir assumer et qui lui donnerait plus de droits qu'à nous d'être arrivé à des conclusions certaines. De plus, étant donnée la complexité du phénomène de la dissémination, augmentée même par les probables absorptions électives résultant de l'hétérogénéité du faisceau émis par le focus, nous croyons que, pour le moment du moins, il ne peut être question de conclusions plus absolues et plus précises que celles que nous avons émises.

Nous devons cependant ajouter que dans les recherches de M. Sagnac il est une question fondamentale de fait qui nous laisse dans l'incertitude.

ABSORPTION DES RAYONS TRANSFORMÉS PAR L'AIR

XI. — M. Sagnac pose aussi comme caractéristique essentielle du faisceau transformé, l'absorption de ce dernier par l'air. Or, nous avons encore bien des doutes sur l'existence d'une telle absorption malgré l'expérience que nous avons faite en avril 1896 et dont, plus d'une année après, M. Sagnac se servait, la donnant pour nouvelle ([1]), pour démontrer cette existence. Nous avons en effet étudié l'influence de la distance sur le renforcement déterminé dans les radiographies par les corps placés derrière la couche sensible pendant l'action des rayons X, et à ce sujet nous écrivions : « Si on interpose entre la pellicule et le réflecteur un cadre mince qui supprime le contact, le phénomène se produit encore, mais moins bien accentué. Cet affaiblissement provient de l'augmentation de la distance entre la pellicule et le réflecteur. Dans d'autres expériences, en effet, en opérant avec des distances diverses, nous avons remarqué qu'à 3 mm environ, le renforcement est presque inappréciable. Au contraire, en faisant flotter une portion de la couche sensible sur du mercure de façon à en assurer un contact très intime, le renforcement du fond apparaît très intense ([2]). »

Nous avons fait plus tard de nombreuses autres preuves dans le même sens; et

([1]) *L'Éclairage Electrique*, 20 août 1898.

([2]) M. Hurmuzescu a démontré précisément que les rayons transformés produits par un corps sont de préférence absorbés par ce même corps (*Comptes rendus*, février 1899).

([1]) *Comptes rendus*, 3 janvier 1898, p. 38, fig. 3.

([2]) *Rendiconti Lincei*, 26 avril 1896, p. 329.

même, afin de nous assurer si la loi de décroissance de l'action de la diffusion était purement géométrique, nous avons répété nos expériences avec des radiations lumineuses, toujours dans des conditions analogues, en substituant au focus une source lumineuse. Les résultats que nous avons obtenus dans chaque cas étaient équivalents. Nous avons en outre pu vérifier qu'avec la lumière et avec les rayons X, les phénomènes marchent parallèlement, même quand on fait varier la distance de la couche sensible au diffuseur dans de très grandes limites (1 à 4 cm). Il faut naturellement éliminer dans ces essais les rayons directs dont l'action prépondérante masquerait le phénomène secondaire et laisser agir seulement les rayons disséminés [1].

Nous ajouterons qu'en disposant sous la couche sensible exposée aux rayons X un diffuseur métallique à gradins de façon à ce que le premier seulement des gradins soit en contact avec la couche sensible, les autres s'en écartant graduellement jusqu'à la distance d'environ 3 mm, nous avons remarqué que l'échelle des renforcements ne changeait pas si l'on opérait dans l'air ou dans le vide.

Enfin nous n'avons jamais pu constater sur nos radiographies une différence quelconque provenant du degré de pénétration du faisceau quand on faisait varier la distance du diffuseur à la couche sensible.

Il est vrai que M. Sagnac arrive par une autre voie à la conclusion que les rayons transformés sont absorbés par l'air, en observant, par exemple, que la transparence apparente d'un corps aux rayons X varie, bien que légèrement, avec sa distance au récepteur des rayons mêmes [2]. Mais ces variations peuvent s'expliquer aussi par la raison géométrique, car la loi de décroissance de l'intensité avec la distance s'applique également à chacun des faisceaux X et S, mais en calculant les distances à partir de deux origines *distinctes* (c'est-à-dire la région d'émission du focus et la couche *e* du corps étudié dans lequel la transformation a lieu).

Dans les autres essais de M. Sagnac sur le même sujet, il est possible de rencontrer une condition géométrique qui; en variant dans les deux expériences de comparaison, suffirait à elle seule à fournir l'explication du fait. Ainsi, suivant M. Sagnac, le coefficient *c* de transformation d'un corps varie avec l'épaisseur de la couche d'air (c'est-à-dire avec la distance) qui sépare le corps de l'électroscope [1]. Ce fait pourrait s'expliquer par les influences déjà signalées plus haut (n° VII) dans la critique des expériences fondamentales, dans lesquelles on filtre le faisceau incident et le faisceau transformé.

Outre cela, si l'on tient compte que M. Hurmuzescu a démontré que pour divers corps, les coefficients de transformation relative sont *indépendants de la nature du gaz ambiant*, on arrive à la conclusion que l'action absorbante de l'air sur les rayons transformés n'est *pas encore suffisamment prouvée.*

Il importe de noter qu'en raison de ce qui vient d'être dit, nos expériences pas plus que nos conclusions ne perdent de leur valeur, parce que la distance entre le diffuseur et le récepteur a toujours été maintenue constante et qu'en outre cette distance (environ 4 cm) était de beaucoup supérieure à celle de quelques millimètres seulement entre lesquels M. Sagnac admet une notable variation de l'absorption de l'air.

CONCLUSIONS

XII. — Nous ne voyons donc aucune raison d'abandonner les idées qui nous ont portés à classer les corps suivant la façon dont ils se comportent dans la dissémination,

(1) Voir à ce sujet notre dispositif de la deuxième note sur la diffusion. (*L'Éclairage Électrique*, 14 janvier 1899, p. 72.)

(2) *L'Éclairage Électrique*, 14 janvier 1899, p. 43-44.

(1) *Comptes rendus*, 27 février 1899.

lorsqu'ils sont frappés par les rayons X. Aujourd'hui il est même possible de nous expliquer pourquoi la succession des corps dans notre tableau ne suit pas avec précision la loi des variations de poids; puisque les belles recherches de M. Dorn sur la genèse de la chaleur dans les corps qui absorbent les rayons X ([1]) font comprendre que l'intensité du faisceau disséminé dépend aussi du pouvoir absorbant de la matière. Ainsi, par exemple, le platine qui nous avait donné l'écart le plus sensible lui a révélé un très grand pouvoir absorbant. De même, M. Walter, qui publiait récemment les résultats de ses recherches sur la réflexion diffuse ([2]), trouvait que l'intensité de cette dernière était en rapport étroit avec le poids atomique de la substance diffusante (confirmant ainsi un fait déjà signalé par nous) ([3]), mais qu'elle augmentait avec ce poids, jusqu'à une certaine valeur de celui-ci, et décroissait ensuite rapidement pour des valeurs plus élevées.

Et nous pourrions étendre notre classification au cas des rayons *transmis* par les corps, cas dont nous ne nous sommes occupés qu'incidemment, notre travail étant surtout fait en vue de l'étude de la diffusion.

XIII. — Si on examine avec soin les nombreux écrits de M. Sagnac on constatera aisément qu'à la suite de nos propres publications, il modifie sensiblement ses idées sur la dissémination des rayons X et semble se rapprocher de notre opinion; si bien qu'aujourd'hui la différence entre ses idées et les nôtres n'est pas aussi grande qu'elle fût il y a quelque temps, — ce dont nous ne pouvons que nous féliciter.

M. Sagnac emploie aujourd'hui des termes beaucoup moins affirmatifs que par le passé relativement à l'entité de la transformation provoquée par divers corps. Dans ses premières notes il lui assumait un degré à peu

([1]) *Wied. Ann.*, décembre 1897.

([2]) *Wied. Ann.*, t. LXVI, p. 74-82.

([3]) *Rendiconti Lincei*, 3 avril 1898, p. 209.

près égal pour tous les corps. L'an dernier, à propos de l'air, il s'exprimait ainsi : « la transformation paraît bien moins profonde avec l'air qu'avec le zinc ([1]). » Il admet maintenant que les rayons secondaires *sont de la même famille que les rayons* X *incidents*, et que, par exemple, les rayons S de l'aluminium, *sont peu transformés et presque aussi pénétrants que les rayons* X *primaires;* de plus ils seraient, vis-à-vis des rayons S du zinc, *ce que les rayons* X *d'un tube très dur sont aux rayons* X *plus absorbables d'un tube très doux* ([2]), et ainsi de suite.

De plus, M. Sagnac fait aujourd'hui, un an après la publication de notre travail, la distinction des corps pesants et des corps légers, admettant que ces derniers *transforment relativement peu les rayons* X ([3]).

Cela prouve donc qu'il admet la relation du pouvoir de transformation, avec le poids relation que nous avons signalée et qui nous a servi à définir les groupes A et B ([4]). De même dans une de ses notes plus récentes ([5]), il arrivait à la conclusion suivante : « Le pouvoir de transformation des éléments augmente le plus souvent avec la densité ou le poids atomique, sans qu'aucune de ces deux remarques soit générale. » M. Sagnac montre en s'exprimant ainsi qu'il avait remarqué la relation probable du poids atomique sur laquelle nous avions déjà émis notre opinion.

En outre, dans une récente communication faite à la Société Française de Physique ([6]), sur la transformation des rayons X par les corps simples, M. Sagnac parlant de la complexité des rayons X et des rayons transformés, admet que leurs spectres ont *d'importantes régions communes*, surtout du *côté*

([1]) *Comptes rendus,* 14 février 1898, p. 522.

([2]) *Journal de Physique*, février 1899.

([3]) *L'Éclairage Électrique*, 14 janvier 1899, p. 45.

([4]) Quant au groupe intermédiaire AB, M. Sagnac n'aurait pu se prononcer parce qu'il n'a jamais expérimenté avec les corps qui en font partie, c'est-à-dire avec ceux dont le poids spécifique varie entre 3 et 7.

([5]) *Comptes rendus*, 6 mars 1899.

([6]) Séance du 6 janvier 1899.

***

des rayons S *les plus pénétrants* (¹). Ce qui revient à admettre que dans le faisceau disséminé par les corps il existe des rayons *égaux aux rayons incidents*. En d'autres termes, on admet le fait d'une véritable diffusion qui, parfois, l'emporte sur la transformation.

Maintenant il n'est pas superflu de rappeler que notre conclusion générale était ainsi formulée : « On est conduit à penser que tous les corps sont aptes à diffuser des rayons X inaltérés et à les transformer en rayons de cryptoluminescence, et que le caractère spécifique de chaque corps, résultant *toujours* de l'ensemble des deux effets, dépend de l'intensité de ces effets. Pour les corps A, le premier effet est négligeable ; pour les corps B, c'est le second (²). »

On remarquera que ces conclusions comprennent celles auxquelles M. Sagnac est arrivé en dernier lieu. Nous n'avons en effet pas exclu d'une façon absolue l'idée que les corps du type B pouvaient donner naissance à des *traces* de rayons transformés ; mais nous affirmions que l'effet sensible de ces corps est celui de simples diffuseurs ; cela parce que le faisceau disséminé ne présente aucune différence appréciable avec le faisceau incident.

Or, M. Sagnac n'a pas encore démontré d'une façon précise, défiant toute critique, qu'il existe une différence appréciable de nature entre le faisceau incident et celui renvoyé par tous les corps. Quand bien même il réussirait à le faire, nous ne savons vraiment pas comment il pourra l'attribuer à une transformation de toutes les radiations qui constituent le faisceau incident plutôt qu'à quelques-unes d'entre elles seulement.

R. Malagoli, C. Bonacini.

Modène (Italie), le 30 mars 1899 (¹).

(¹) *L'Éclairage Électrique*, 14 janvier 1899, p. 66.

(²) D'après la traduction de notre ouvrage par M. Sagnac ; *L'Éclairage Électrique*, 14 janvier 1899, p. 77.

(¹) Diverses causes ont retardé la publication de cet article, qui nous est parvenu au commencement d'avril. (*La Rédaction*).

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

DYNAMOS A COURANT CONTINU (²)

Les collecteurs pour dynamos de MM. P.-R. Jackson et J. S. Lewis (³), diffèrent des collecteurs ordinaires en ce que les lames sont serrées entre elles par des colliers métalliques isolés introduits à chaud.

Les ailettes connectant les lames du collecteur aux barres ou fils de l'induit ont une forme particulière représentée sur la figure 1. L'ailette et la lame du collecteur portent chacune une rainure qui permet de les emboîter l'une dans l'autre pour que l'ensemble ait la même épaisseur que la lame seule.

Lorsque les lames 1 sont assemblées et séparées par l'isolant 3, on les serre d'abord entre elles à la façon ordinaire; puis, après tournage des extrémités, on place à chaud les anneaux métalliques 6 isolés du collecteur par les pièces isolantes 5. Pour que celles-ci ne se gondolent pas, pendant le refroidissement des anneaux, on dispose des feuilles d'étain 6_a sous ceux-ci.

Les anneaux ont une forme légèrement conique et sont maintenus en place par des colliers à rebords dont l'un 9, claveté sur l'arbre 7, est retenu par l'épaulement 8, tandis que l'autre 12 peut glisser sur l'arbre et est serré à l'aide de l'écrou 13 vissé sur l'arbre 7.

Dans un autre dispositif également breveté, par les mêmes inventeurs, les deux

(²) Voir *L'Éclairage Électrique* du 9 septembre, p. 370.

(³) Brevet anglais, n° 812, 8 figures, déposé le 11 janvier 1898, délivré le 3 décembre 1898.

colliers sont reliés et serrés entre eux par des boulons.

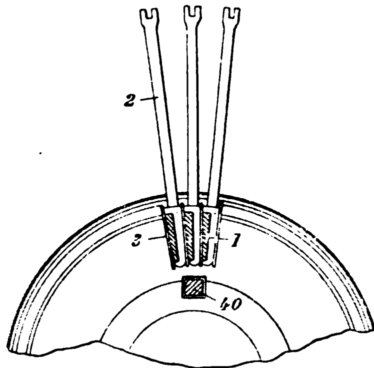


Fig. 1. — Coupe partielle et vue d'un collecteur Jackson et Lewis.

La figure 3 se rapporte à un procédé de construction du même genre où l'un des colliers est constitué par un véritable man-

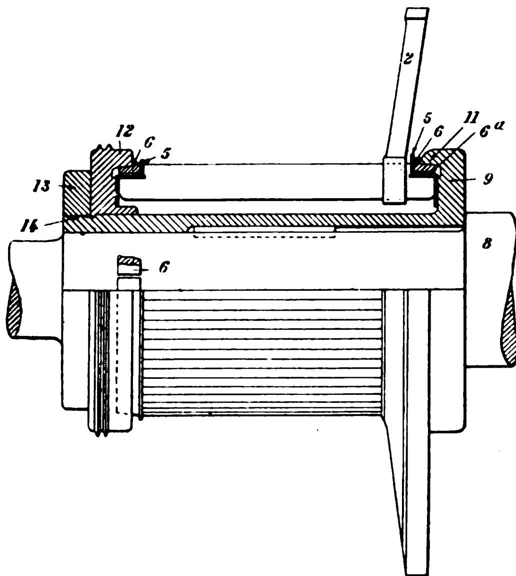


Fig. 2. — Coupe par l'axe et vue d'un collecteur Jackson et Lewis.

chon claveté sur l'arbre et sur lequel peut glisser le second collier, serré soit à l'aide d'un écrou, soit à l'aide de boulons.

Les inducteurs des dynamos multipolaires de MM. Jackson et Lewis (fig. 4 et 5) sont constitués d'une carcasse extérieure, de préférence en deux parties fixées ensemble par des boulons 29, et d'une partie intérieure construite d'une façon spéciale.

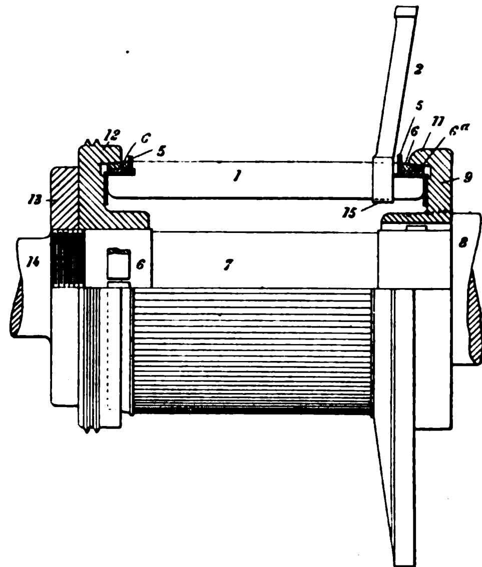


Fig. 3. — Coupe par l'axe et vue d'un collecteur Jackson et Lewis.

L'ensemble des noyaux magnétiques et des pièces polaires est coulé d'une seule pièce,

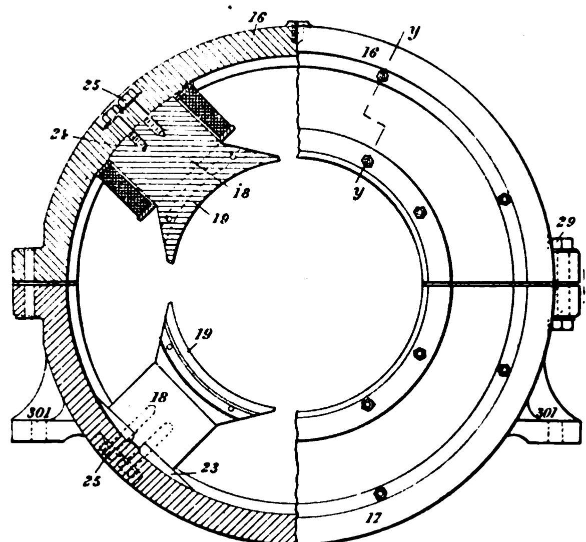


Fig. 4. — Coupe et vue d'un inducteur de machine à quatre pôles Jackson et Lewis.

comme le montre la figure 6. Cette pièce est travaillée aux endroits convenables, puis alésée; elle est ensuite introduite dans l'anneau formant carcasse auquel elle est fixée

par les boulons 25. Deux disques en bronze, chacun en deux parties, sont fixés d'une part à la couronne extérieure, et, d'autre part,

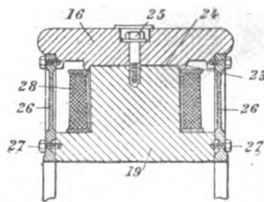


Fig. 5. — Coupe d'un pôle inducteur d'une machine Jackson et Lewis.

aux épanouissements polaires à l'aide des boulons 27. Ces disques sont percés de trous pour la ventilation.

L'inducteur une fois assemblé, les épanouissements polaires sont séparés et amenés à la forme et à la section voulue.

On obtient ainsi un ensemble d'usinage peu coûteux et de rigidité parfaite. Les bobines inductrices 28 enroulées préalablement sur des carcasses sont mises en place et connectées convenablement au montage de la dynamo.

MM. Siemens frères [1], de Londres, emploient pour fixer les tôles d'induit des machines de grande puissance, un procédé qui, en somme, diffère peu de ceux employés par

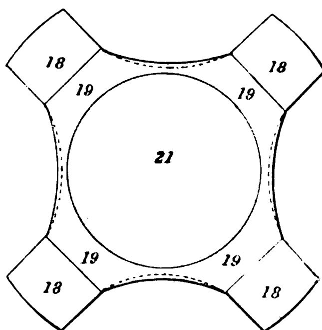


Fig. 6. — Ensemble des noyaux et des épanouissements polaires d'une machine Jackson et Lewis avant l'usinage.

la plupart des grandes maisons de construction allemandes et suisses.

Dans le procédé représenté sur la figure 7, les tôles C portent des encoches en queue d'aronde dans lesquelles sont logées des pièces en fonte en queue d'aronde et venues de fonte avec la lanterne même de l'induit. Ces pièces sont divisées en deux parties par une rainure D, de façon qu'après l'empilage des tôles on puisse, à l'aide des clavettes rectangulaires E, serrer ces pièces contre les tôles.

Celles-ci peuvent être divisées en plusieurs paquets dont les tôles extrêmes portent sur les bords des encoches des languettes F rivées à ces tôles. On peut ainsi maintenir un certain espace fixe entre chaque paquet. L'ensemble est serré à l'aide de boulons G, logés à la surface interne de l'induit.

Le dispositif indiqué sur la figure 8 est ana-

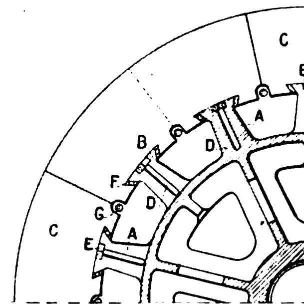


Fig. 7. — Procédé de fixation des tôles induites des dynamos Siemens Brothers.

logue au précédent, à cette différence près que les tôles induites sont directement fixées à l'extrémité des rayons du volant ou support d'induit.

Sur la figure 9, chaque rayon porte une portion de jante qui embrasse une certaine partie de la surface intérieure du fer induit. Le fixage des tôles par queues d'aronde est du reste identique à celui indiqué sur les figures précédentes, le serrage s'obtenant toujours à l'aide des clavettes E qui, ici, ont une section trapézoïdale.

Dans la plupart des porte-balais, pour balais en charbon, le contact entre le balai et le conducteur est obtenu par l'intermédiaire d'une plaque ou d'un ressort pressé sur le dit balai. On a essayé aussi, surtout pour

[1] Brevet anglais, n° 21841, 5 figures, déposé le 17 octobre 1898, délivré le 17 décembre 1898.

les petits balais, de percer ceux-ci d'un trou dans lequel on introduit le conducteur.

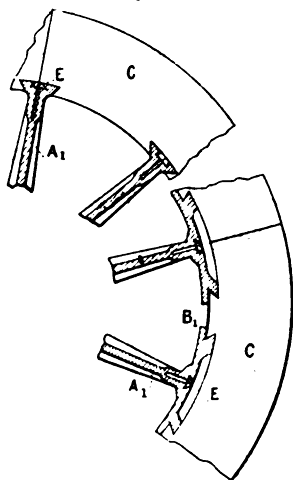


Fig. 8 et 9. — Procédés de fixation des tôles d'induit des dynamos Siemens Brothers (Variantes).

M. A. L. Rohrer, de la Compagnie Thomson-Houston ([1]), propose, dans un récent brevet anglais, un dispositif qui permet d'assurer un bon contact entre le conducteur et le balai.

Le conducteur est connecté au balai par l'intermédiaire d'une sorte de fourche B (fig. 10 et 11) à laquelle ce conducteur est

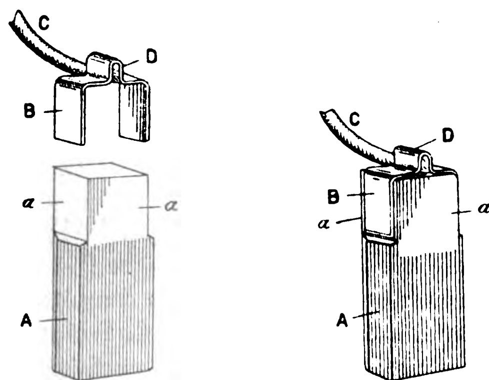


Fig. 10 et 11.— Dispositif d'attachement des balais en charbon de la Compaguie Thomson-Houston (M. Rohrer).

soudé dans un repli *b*. Le balai A, taillé à sa partie supérieure *a* pour recevoir la fourche, est recouvert en cet endroit d'une couche de soudure sur laquelle s'appuie la fourche. Celle-ci, une fois en place, on la soude avec le balai et on augmente encore la conductibilité du contact en déposant par l'électrolyse une couche métallique sur la soudure.

([1]) Brevet anglais, n° 22079, 2 figures; déposé le 20 octobre 1898, délivré le 7 janvier 1899.

Nous avons décrit longuement l'an dernier le dispositif de MM. Sayers, Coulson et A. et S. Moores ([1]), pour faciliter la commutation dans les dynamos à courant continu, dispositif consistant à utiliser le flux de réaction d'induit pour créer une force électromotrice proportionnelle au débit de la machine et servant à l'inversion du courant dans les sections mises en court-circuit par les balais. Le flux de l'induit est dans ce procédé dérivé dans un circuit magnétique spécial de faible saturation et placé soit en dehors de l'inducteur, soit en empruntant une partie du circuit magnétique de l'inducteur.

Dans un récent brevet sur le même sujet, M. Sayers et MM. Mavor ([2]) et Coulson ont en vue divers perfectionnements en ce qui concerne la constitution de ce circuit magnétique auxiliaire et les moyens de régler sa perméance.

Dans ce dispositif, les inventeurs empruntent une partie du circuit magnétique inducteur non plus sur la couronne extérieure des inducteurs mais sur les pièces polaires elles-mêmes. Leur procédé consiste en effet à placer près des cornes polaires des petits pôles dont on peut régler non seulement la distance à l'armature mais aussi celle aux pièces polaires proprement dites.

L'ensemble est tel que ces projections polaires auxiliaires ou *pôles de renversement* sont, à vide, traversées par une partie du flux inducteur; mais l'induction y est beaucoup plus faible que dans les pôles eux-mêmes.

([1]) Voir notre article sur les « Machines dynamo-électriques : dynamo à courant continu », *Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 141, 22 octobre 1898.

([2]) Brevet anglais, n° 5177, 6 figures; déposé le 2 mars 1898, délivré le 4 février 1899.

La figure 12 montre l'application de ce nouveau dispositif à une machine à quatre

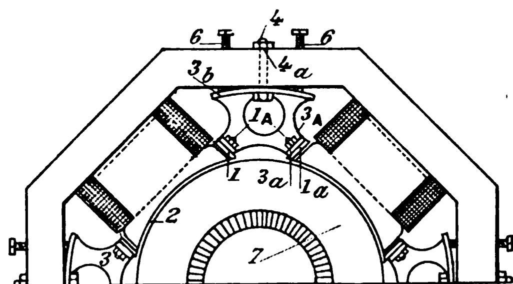


Fig. 12. — Dynamo à quatre pôles Sayers, Mavor et Coulson avec pôles auxiliaires pour faciliter la commutation et annuler le décalage des balais.

pôles. Les pôles de renversement 1 sont disposés sur un support en métal non magnétique 3 fixé à la partie interne de la carcasse magnétique extérieure 5 à l'aide de boulons 4 et des vis de réglage 6.

Les pôles auxiliaires peuvent être plus ou moins rapprochés des pièces polaires 2 à l'aide d'un dispositif quelconque.

Sur la figure 13 se rapportant à une ma-

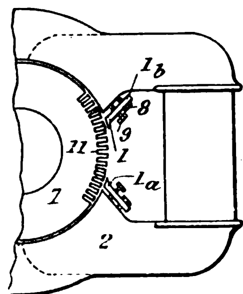


Fig. 13. — Dynamo bipolaire Sayers, Mavor et Coulson avec pôles auxiliaires pour faciliter les commutations et annuler le décalage des balais.

chine bipolaire, les pôles de renversement sont fixés aux épanouissements polaires eux-mêmes à l'aide de boulons 8 en métal non magnétique. Une vis 9 permet de régler la position relative du petit pôle par rapport à l'induit.

Les petits pôles auxiliaires peuvent également, dans quelques cas, comme le montre la figure 14, être fixés sur un prolongement $2'_a$ des épanouissements polaires et être constitués par une pièce en forme d'L, réglagle comme dans le cas précédent à l'aide de la vis 9.

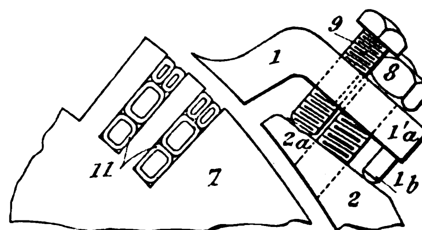


Fig. 14. — Pôles auxiliaires de Sayers, Mavor et Coulson (détail du réglage).

La figure 15 se rapporte à une disposition identique à celle de la figure 12, mais l'entrefer au lieu d'être le même sur toute la surface du pôle ou tout au moins d'être symé-

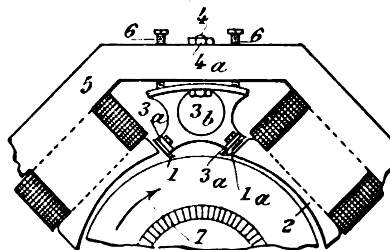


Fig. 15. — Dynamo tétrapolaire Sayers, Mavor et Coulson avec pôles auxiliaires et entrefer dissymétrique pour accroître l'effet de la réaction d'induit dans le circuit magnétique auxiliaire.

trique par rapport à l'axe du pôle est augmenté, non pas du côté où le flux de réaction d'induit tend à renforcer le flux inducteur de façon à rétablir en charge l'égalité de l'inducteur le long de l'entrefer, comme cela a été employé par l'Allmanna Svenska Elektriska Aktiebolaget [1] et par MM. Lewis et Howitt [2], mais du côté où la réaction d'induit diminue le flux inducteur de façon à augmenter l'effet de cette réaction pour faciliter la commutation par la création

(1) Voir notre article sur les « Machines dynamo-électriques : dynamos à courant continu », *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 417, 18 mars 1899.

(2) Voir notre article sur les « Machines dynamo-électriques : dynamos à courant continu », *L'Éclairage Électrique*. t. XVII, p. 141, 22 octobre 1898.

d'une plus grande force électromotrice dans les bobines en court-circuit. Ce dispositif est plus spécialement applicable dans les machines de grande puissance et lorsque l'on veut obtenir un minimum d'échauffement et de ronflement.

Pour réduire les courants de Foucault dans les pôles auxiliaires on peut constituer ceux-ci avec des tôles comme le montre les figures 16 et 17. Ces tôles sont serrées entre quatre plaques en métal non magnétique 10 à l'aide de boulons et le tout est fixé sur l'épanouissement polaire par le procédé indiqué plus haut, c'est-à-dire à l'aide du boulon 8 passant dans le trou 1 de diamètre un peu plus grand et de la vis de réglage 9 qui permet d'éloigner plus ou moins la pièce polaire auxiliaire de la surface de l'induit.

Comme primitivement, les inventeurs rappellent que la distance entre les deux pôles auxiliaires voisins de noms contraires est faite à peu près égale à la largeur de la bobine commutatrice [1] dont l'induit est pourvu pour obtenir une position fixe des balais à toute charge et sans étincelles.

Nous avons dans la première partie de cet article, décrit le dispositif de M. Cantono pour faire varier la tension aux bornes d'une dynamo ou la vitesse d'un moteur par variation de l'entrefer. Dans un second brevet [1], l'inventeur décrit un type de dynamo à courant continu plus spécialement établi pour la charge des accumulateurs.

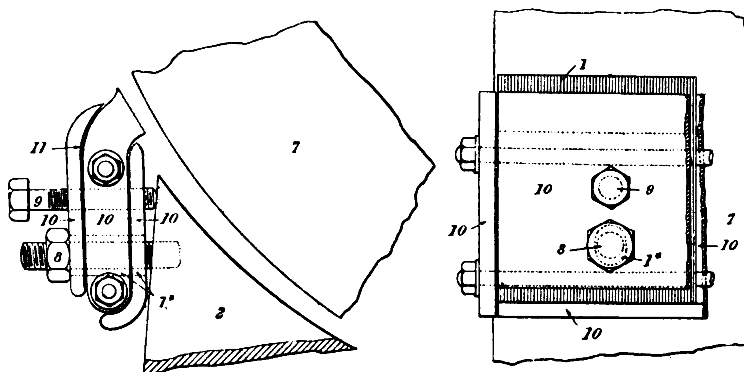


Fig. 16 et 17. — Vue de face et en plan des pôles auxiliaires en tôles feuilletées de Sayers, Mavor et Coulson.

Cette dynamo, en somme, est constituée par deux dynamos à disques, identiques à celle décrite à la fin du premier brevet, et accolées dos à dos; elle est représentée en coupe par l'axe sur la figure 18 et partiellement en coupe et en vue sur la figure 19.

Les deux induits supportés par les étoiles S peuvent coulisser d'une certaine quantité le long de l'arbre X, ce mouvement latéral est limité dans le sens du rapprochement des induits entre eux et par suite des induits avec les systèmes inducteurs par des ergots placés sur l'arbre. Entre les deux supports d'induit sont disposés, soit des ressorts, soit des tampons en caoutchouc destinés à jouer le même rôle que les ressorts. L'action de ceux-ci est d'équilibrer pour un certain entrefer l'attraction magnétique qui s'exerce entre les induits et les inducteurs.

Chacun des induits est formé d'un anneau *c* à section intérieure tronconique sur lequel est enroulé un ruban de tôle H, un second anneau *f* entoure le ruban extérieurement, le bobinage est du genre Gramme.

Le support de l'induit formé d'une étoile en bronze est emmanché dans la partie conique de l'anneau *e* par pression. Les inducteurs N sont représentés séparément sur les

(1) Voir *Lumière Électrique*, S. B. Sayers « Sur la suppression des étincelles », t. XLIX, p. 427, 1893.

(1) Brevet anglais, n° 3218, 10 figures, déposé le 8 février 1898, délivré le 8 février 1899.

figures 20 et 21. Ils sont fixés sur le disque K qui les supporte.

Pour limiter l'éloignement des deux induits on dispose sur l'arbre des écrous *y* dont la position peut être arrêtée à la valeur convenable par une petite vis *v* passant dans un œilleton et venant reposer sur l'arbre dans des rainures pratiquées à cet effet. Dans le but d'éviter les effets de déplacement latéral de l'ensemble par suite d'une différence d'attrac-

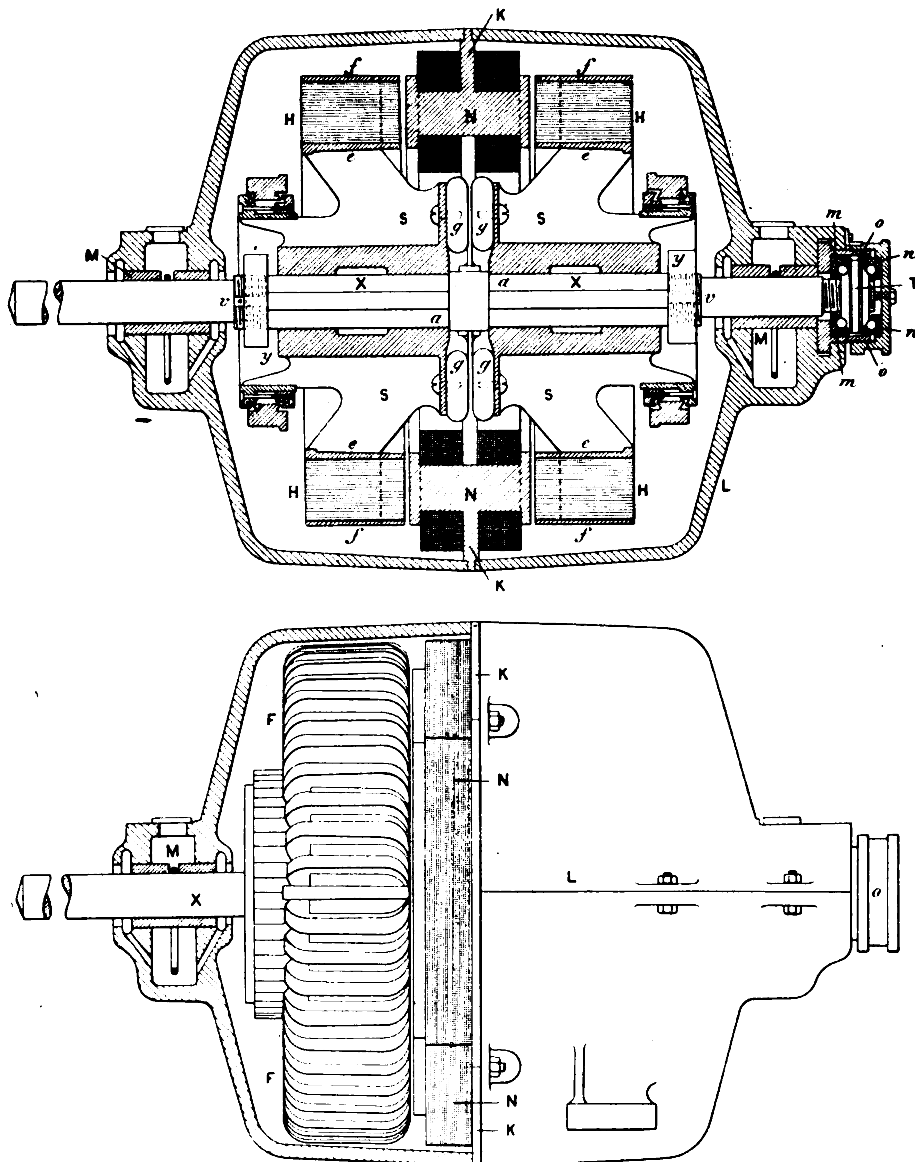


Fig. 18 et 19. — Vues et coupes d'une dynamo à entrefer réglable de Cantono.

tion des induits par les inducteurs, M. Cantono dispose en dehors des deux paliers ordinaires M à bagues, un palier à billes fixé sur l'un des paliers précédents.

L'arbre porte à cet effet un double cône T vissé à l'une de ses extrémités et dont la distance peut être variée, à l'aide de vis comme pour les manchons *y*. Ce double T a ses deux surfaces latérales roulant sur deux systèmes de billes compris entre ces surfaces

et deux anneaux à bord intérieur concave.

La machine est complètement enfermée dans une caisse en deux parties, ce qui permet, en enlevant la partie supérieure, de sortir facilement l'induit en cas de réparation.

Le fonctionnement de cette machine comme génératrice est facile à comprendre. Si l'on diminue un peu le courant inducteur, l'attraction des induits et des inducteurs devenant moindre, les tampons en caoutchouc éloignent

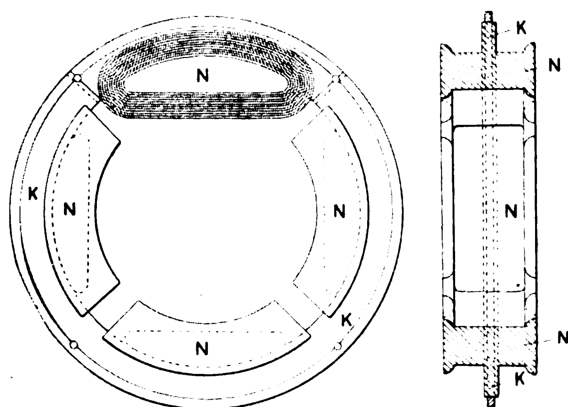


Fig. 20 et 21. — Vues et coupe d'un inducteur de dynamo Cantono.

les induits des inducteurs jusqu'à ce que leur action soit équilibrée à nouveau par l'attraction magnétique. Il en résulte donc une diminution de la tension aux bornes due à la fois à la diminution du courant d'excitation et à l'augmentation de l'entrefer.

Ce genre de machine peut servir pour la charge des accumulateurs à courant constant, car alors la tension doit augmenter au fur et à mesure que la batterie se charge.

Dans ce cas, en effet, l'augmentation de la force contre-électromotrice de la batterie augmentant le courant d'excitation, l'entrefer se trouve diminué et la tension aux bornes croît à la fois du fait de l'augmentation du courant d'excitation et de la diminution de l'entrefer.

Dans l'emploi de ce genre de machine comme moteur série ou shunt le fonctionnement est aussi facile à comprendre, l'augmentation de vitesse résultant par exemple d'une diminution du courant d'excitation soit par l'introduction d'un rhéostat en série (moteur shunt) ou en dérivation (moteur série) étant relativement grande par suite de l'augmentation simultanée de l'entrefer.

La diminution de l'induction dans l'entrefer correspondant, dans le cas du fonctionnement en génératrice comme dans celui de la marche en moteur, à un éloignement de l'induit, la réaction de ce dernier diminue en même temps que le champ inducteur, et par suite la position des balais pour l'absence d'étincelles reste pratiquement la même.

Pour obtenir un balai métallique de grande conductibilité, parfaitement élastique et s'usant peu, MM. J.-C. Leissing et C.-L. Hiebl [1] emploient des toiles métalliques en fil très fin de bronze phosphoreux ou de bronze de sodium, découpées en bandes de façon à ce que les fils soient en diagonale par rapport aux côtés des bandes. Ces bandes sont ensuite recuites une ou plusieurs fois, puis laminées et finalement pliées à la façon ordinaire pour constituer le balai.

Le nombre de fils de la toile métallique employée doit être de 70 à 90 par centimètre carré.

C.-F. Guilbert.

[1] Brevet anglais, n° 23706, sans figure; déposé le 10 novembre 1898, délivré le 25 février 1899.

ÉTUDE SUR LA TRANSMISSION ET LA DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE

PAR LES COURANTS ALTERNATIFS [1]

CINQUIÈME PARTIE

TRANSFORMATEURS-REDRESSEURS

V. — De la commutation dans les transformateurs-redresseurs a courants polyphasés (*suite*).

6° *Nombre de spires de chacun des circuits primaires et section à donner aux noyaux magnétiques du grand transformateur.* — La force électromotrice moyenne développée entre les balais du redresseur est de 114,93 volts lorsque la force électromotrice maxima développée dans chaque spire entourant l'un des noyaux du transformateur est de 1 volt.

En supposant que cette force électromotrice subisse une chute de 4 p. 100 lorsque le débit de l'appareil varie de 0 à son maximum, nous devrons développer à vide 520 volts entre les balais du redresseur.

La force électromotrice maxima développée dans chaque spire entourant l'un des noyaux devra donc être de $\frac{520}{114.93} = 4{,}53$ volts.

Soit une force électromotrice efficace de $\frac{4{,}53}{\sqrt{2}} = 3^{\text{volts}},2$ Si le voltage simple des courants primaires est de 4 000 volts, chaque circuit primaire devra comporter

$$\frac{4\,000}{3{,}2} = 1\,250 \text{ spires.}$$

En supposant que la hauteur de chaque circuit primaire soit de 20 cm que le diamètre extérieur moyen des bobines secondaires soit de 35 cm et que chaque barre de connexion ait une surface extérieure de 300 cm², la surface de refroidissement moyenne correspondante à une section de l'appareil sera de

$$35\pi \times 20 + 600 = 2800.$$

En admettant qu'il faille 30 cm² de refroidissement par watt, nous pourrons dépenser en moyenne dans chaque section du transformateur (fer et cuivre) 93,5 watts. Nous en dépenserons la moitié dans le fer, soit 47 watts.

L'intensité maxima φ du flux développé dans le noyau sera donnée par l'équation

$$2\pi \times 50\varphi = 4{,}53.10^8,$$

d'où

$$\varphi = 1\,440\,000.$$

En supposant que la perte par kilogramme dans le fer corresponde à celle qu'indique la courbe de M. Kapp relative au fer de bonne qualité, nous trouvons par tâtonnements qu'il convient de donner 250 cm² de section réelle à chaque noyau.

Le poids du fer correspondant à une section est alors de

$$\frac{250 \times 20 \times 7.8}{1\,000} \; 39 \text{ kg.}$$

L'induction spécifique développée est de

$$\frac{1\,440\,000}{250} = 5\,760 \text{ gauss.}$$

La courbe de M. Kapp donne pour cette induction, une perte totale de 1,20 watt par kilogramme de fer.

Soit, pour la masse de fer correspondant à une section,

$$39 \times 1{,}2 = 46{,}7 \text{ watts.}$$

7° *Mode de constitution des circuits primaires.* — Ceux-ci sont situés à l'intérieur des circuits secondaires.

[1] *L'Éclairage Électrique* du 23 septembre, p. 447.

Nous allons déterminer d'abord le diamètre de la carcasse sur laquelle ils seront enroulés.

Nous supposerons que la section faite dans un noyau soit octogonale et que le fer n'occupe que les 0,85 de cette section, le reste de la place étant pris par le papier.

On trouve qu'un octogone ayant une surface de $\frac{250}{0,85} = 294$ cm² s'inscrit dans un cercle de 205 mm de diamètre, comme il est représenté ci-contre (fig. 67).

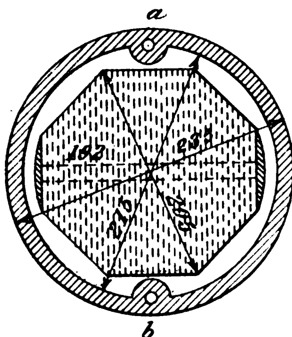


Fig. 67.

Pour faciliter la circulation de l'air autour du noyau, nous laisserons entre lui et la carcasse un jeu minimum de 5 mm d'épaisseur.

Enfin celle-ci sera constituée par un tube en carton muni de deux saillies *a* et *b* où seront logés les tubes renfermant les conducteurs d'arrivée et de sortie des courants primaires.

Nous donnerons 10 mm d'épaisseur au tube constituant la carcasse. Son diamètre extérieur sera ainsi de 235 mm.

Intensité de courant dans les primaires. — Chaque circuit primaire servira à exciter deux sections des secondaires appartenant, l'une au circuit 1 et l'autre au circuit 31, ou l'une au circuit 2 et l'autre au circuit 32,...

Suivant que ces sections secondaires auront 1, 2, 3 ou 4 spires, la somme des ampères-tours qu'elles développeront sera égale à 600, 1 200, 1 800 ou 2 400 ampères-tours.

Le nombre d'ampères-tours développé par chaque circuit primaire sera très sensiblement égal à ceux développés par les sections qui les recouvrent. Nous pouvons donc dresser le tableau suivant :

Nombre de spires des sections secondaires excitées par le circuit primaire considéré.	Intensité du courant dans le circuit primaire.
1	$\frac{600}{1\,250} = 0{,}48$ amp.
2	$\frac{1\,200}{1\,250} = 0{,}96$ »
3	$\frac{1\,800}{1\,250} = 1{,}44$ »
4	$\frac{2\,400}{1\,250} = 1{,}92$ »

Nous emploierons les fils suivants pour constituer ces divers circuits :

INTENSITÉ du courant.	DIAMÈTRE du fil nu.	DIAMÈTRE du fil recouvert.	SECTION	POIDS de 1 km de ce fil.	RÉSISTANCE à chaud de 1 km de ce fil.
	mm	mm	m²	kg	ohms
0,48	0,8	1,3	0,5027	4,474	38,1
0,96	1,2	1,7	1,1310	10,066	17
1,44	1,4	1,9	1,5394	13,700	12,4
1,92	1,6	2,1	2,0106	17,895	9,53

Chaque circuit primaire sera divisé en 10 sections de 19 mm d'épaisseur, séparées par des rondelles isolantes de 1 mm. Ces circuits seront constitués de la manière suivante :

I. — *Circuits en fil de* 0,8 *mm.*

On enroulera dans chaque section :

1° 8 couches de 14 spires. $8 \times 14 \times 10 = 1\,120$
2° 1 » de 13 » . $13 \times 10 = 130$
Total. 1 250

Épaisseur de l'enroulement : $1{,}3 \times 9 = 11{,}7$ mm

II. — *Circuits en fil de* 1,2 *mm.*

On enroulera dans chaque section :

1° 11 couches de 11 spires. $11 \times 11 \times 10 = 1\,210$
2° 1 » de 4 » . $4 \times 10 = 40$

Total 1 250

Épaisseur de l'enroulement : $1,7 \times 12 = 20,4$ mm.

III. — *Circuits en fil de* 1,4 *mm.*

On enroulera dans chaque section :

1° 12 couches de 10 spires. $12 \times 10 \times 10 = 1\,200$
2° 1 » de 5 » . $5 \times 10 = 50$

Total 1 250

Épaisseur de l'enroulement : $1,9 \times 13 = 24,7$ mm.

IV. — *Circuits en fil de* 1,6 *mm.*

On enroulera dans chaque section :

1° 13 couches de 9 spires . $13 \times 9 \times 10 = 1\,170$
2° 1 » de 8 » . $8 \times 10 = 80$

Total 1 250

Épaisseur de l'enroulement : $2,1 \times 14 = 29,4$ mm.

Les circuits en fil de 1,6 mm se reposeront directement sur la carcasse. Quant aux autres, afin de réduire les fuites au minimum, nous leur donnerons le même diamètre extérieur qu'à ceux-là, en enroulant d'abord des bandes de toile gomme-laquée sur la carcasse.

Nous pouvons maintenant dresser le tableau suivant :

CIRCUITS en fil.	DIAMÈTRE de la spire moyenne.	CIRCONFÉRENCE de la spire moyenne.	LONGUEUR de fil constituant le circuit.	POIDS de ce fil.	RÉSISTANCE à chaud du circuit.	ÉNERGIE consommée en chaleur dans le circuit.
mm	mm	mm	m	kg	ohms	watts
De 0.8. . . .	282	886	1 108	4.96	42,2	9.74
» 1.2. . . .	274	861	1 076	11,48	18,3	16.82
» 1.4. . . .	269	845	1 055	14.48	13,1	27,17
» 1.6. . . .	265	833	1 040	18.62	9,93	36.56

L'appareil comporte en tout :

12 circuits en fil de 0,8 mm.
18 » » de 1,2 »
24 » » de 1,4 »
27 » » de 1,6 »

Il faudra donc, pour constituer les circuits primaires :

$12 \times 4,474 = 53,6$ kg de fil de 0,8 mm.
$18 \times 10,060 = 181,0$ » » de 1,2 »
$24 \times 13,700 = 329,0$ » » de 1,4 »
$27 \times 17,895 = 483,0$ » » de 1,6 »

1 046,6

La quantité d'énergie consommée en chaleur dans ces circuits sera

$12 \times 9.74 = 116,6$ watts
$18 \times 16.82 = 303.0$ »
$24 \times 27.17 = 652,0$ »
$27 \times 36.56 = 988,8$ »

2 059,6

8° *Correcteurs.* — Nous donnerons dix spires à chacun des circuits enroulés autour des noyaux du grand transformateur et qui sont destinés à exciter les correcteurs.

Dans ces conditions si les circuits secondaires de ces appareils n'avaient qu'une spire, les nombres de spires des circuits primaires de ces derniers devraient être égaux à l'un des nombres suivants :

710 ; 50,7 ; 37 ; 23,9.

La force électromotrice maxima développée dans les circuits de 10 spires étant de 45,3 volts, la force électromotrice développée dans chaque spire entourant le noyau magnétique d'un correcteur serait égale à l'un des nombres suivants :

$$\frac{45,3}{710} = 0,064, \quad \frac{45,3}{50,7} = 0,894, \quad \frac{45,3}{37} = 1,222, \quad \frac{45,3}{23,9} = 1,897.$$

Mais pour réaliser les trois derniers transformateurs, il faudrait employer un poids de

fer exagéré ; c'est pourquoi nous donnerons :

1 spire	au circuit secondaire	du premier	correcteur.
3 spires	» »	du deuxième	»
3 »	» »	du troisième	»
5 »	» »	du quatrième	»

Les nombres de spires de leurs circuits primaires devront être multipliés de la même manière et deviendront égaux à

710	pour le premier	correcteur,
152	» le deuxième	»
111	» le troisième	»
119	» le quatrième	»

Les intensités des flux dans les noyaux magnétiques des correcteurs seront les suivantes :

Premier correcteur . . .	20300
Deuxième » . . .	95000
Troisième » . . .	130000
Quatrième » . . .	121000

Nous donnerons à tous leurs noyaux une même section de 24 cm².

Il passera, dans chaque bobine secondaire, un courant de 600 ampères pendant $\frac{1}{36}$ du temps.

L'échauffement sera le même que s'il y passait d'une manière continue un courant de

$$\frac{600}{\sqrt{30}} = 110 \text{ ampères.}$$

Chaque circuit primaire excitant deux circuits secondaires, le nombre d'ampères-tours développé engendré par chacun d'eux sera, pendant $\frac{1}{30}$ du temps égal à :

1200	pour le premier	correcteur.
3600	» le deuxième	»
3600	» le troisième	»
6000	» le quatrième	»

Mais, au point de vue de l'échauffement, les choses se passeront comme si ces nombres d'ampères-tours étaient constamment égaux à 220, 660, 660 et 1 100.

Dans ces conditions, les sections des fils des circuits primaires des correcteurs devront être déterminées comme s'ils devaient être parcourus par des courants de

$\frac{220}{710} = 0,31$ amp. pour le premier correcteur,
$\frac{660}{152} = 4,34$ » » le deuxième »
$\frac{660}{111} = 5,95$ » » le troisième »
$\frac{1\,100}{119} = 9,2$ » » le quatrième »

Nous emploierons du fil de

0,7 mm de diamètre pour le circuit primaire du premier correcteur ;

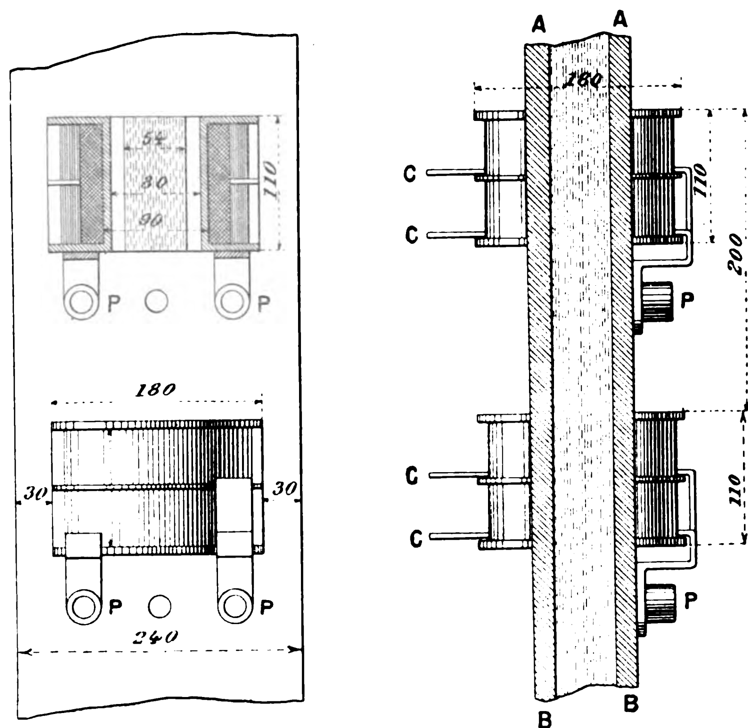


Fig. 68.

2,4 mm de diamètre pour le circuit primaire du deuxième correcteur ;
2,8 mm de diamètre pour le circuit primaire du troisième correcteur ;
3,5 mm de diamètre pour le circuit primaire du quatrième correcteur ;

Nous disposons maintenant des éléments nécessaires pour déterminer les dimensions de ces appareils.

Leurs carcasses seront constituées par des bandes de tôle superposées et maintenues serrées par des plaques de fonte AB, AB (fig. 68). Dans le bloc ainsi formé seront pratiqués des évidements de section rectangulaire (110 × 170) où l'on viendra loger les noyaux de section carrée et les bobines qui devront les entourer.

On déduit des dimensions cotées sur la figure 68

Poids de tôle par appareil. . . . . 12 kg
Poids total de tôle pour les 24 correcteurs 288 »

Les circuits primaires seront ainsi disposés :

Premier correcteur : fil de 0,7 mm ayant un diamètre de 1,2 mm avec sa couverture.

8 couches de 83 spires.
1 couches de 46 spires.
Épaisseur de l'enroulement 10,8 mm

Deuxième correcteur : fil de 2,4 mm ayant un diamètre de 3 mm avec sa couverture.

4 couches de 33 spires.
1 » de 20 »
Épaisseur de l'enroulement 15 mm.

Troisième correcteur : fil de 2,8 mm ayant un diamètre de 3,4 mm avec sa couverture.

3 couches de 29 spires.
1 » de 24 »
Épaisseur de l'enroulement 13,6 mm.

Quatrième correcteur : fil de 3,5 mm ayant un diamètre de 4,1 mm avec sa couverture.

4 couches de 28 spires.
1 » de 7 »
Épaisseur de l'enroulement 20,5 mm.

Nous pouvons dresser le tableau suivant :

CIRCUITS en fil.	DIAMÈTRE de la spire moyenne.	CIRCONFÉRENCE de la spire moyenne.	LONGUEUR de fil constituant le circuit.	POIDS de ce fil.	RÉSISTANCE à chaud du circuit.	ÉNERGIE consommée en chaleur dans le circuit.
mm	mm	mm	m	kg	ohms	watts
De 0,7. . . .	101	317,3	226	0,780	11,3	1,09
» 2,4. . . .	105	329,9	51	2,060	0,216	4,08
» 2,8. . . .	104	326,7	37	2,030	0,115	4,08
» 3,5. . . .	111	348,7	42	3,600	0,084	7,15

Il y a six correcteurs de chaque espèce.

Le poids total de fil employé pour les circuits primaires est de 51 kg.

La quantité de chaleur dégagée dans ces circuits est de 98,3 watts.

Les bobines des circuits secondaires seront confectionnées comme celles du grand transformateur.

On emploiera, dans ce but, des bandes de cuivre de 3 mm d'épaisseur, larges de 48 mm. La longueur du prolongement normal servant à l'entrée du courant sera de 150 mm.

NOMBRE de spires.	DIAMÈTRE moyen d'une spire.	CIRCONFÉRENCE de la spire moyenne.	LONGUEUR de la bande employée par correcteur.	POIDS de cette bande.	RÉSISTANCE à chaud par circuit.	ÉNERGIE consommée en chaleur dans les circuits secondaires du correcteur.
	mm	mm	m	kg	microhms	watts
1	121	380,1	1,84	2,36	128	3,1
3	137	430,4	3,71	4,75	258	6,25
3	137	430,4	3,71	4,75	258	6,25
5	158	499,5	5,50	7,05	490	11,85

Poids total de la bande de cuivre de 48 mm × 3 mm employée dans les correcteurs et leurs connexions . . . . 113,5 kg
Chaleur dégagée dans ces bandes de cuivre . . . . 165 watts

La longueur moyenne du prolongement, allant aboutir à une des prises de courant de l'appareil, sera de 20 cm.

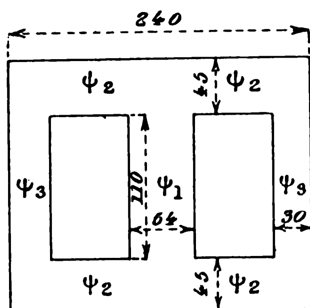


Fig. 69.

Nous arriverons aux résultats consignés dans le tableau ci-dessus, en supposant les spires séparées les unes des autres par un isolant épais de 1 mm :

Perte d'énergie dans le fer. — Désignons par ψ_1, ψ_2, ψ_2 les différentes valeurs maxima que l'induction peut acquérir dans les diverses parties de carcasse d'un correcteur. Nous trouvons d'après ce qui précède

CORRECTEUR	φ_1	φ_2	φ_3
N° 1.	825	737	494
» 2.	3 850	3 440	2 530
» 3.	5 260	4 720	3 160
» 4.	4 900	4 390	2 950

Dans tous les correcteurs

Le poids total des tôles où l'induction maxima est ψ_1 est égal à 2,12 kg ;
Le poids total des tôles où l'induction maxima est ψ_2 est égal à 2,37 kg ;
Le poids total des tôles où l'induction maxima est ψ_3 est égal à 7,70 kg.

En nous servant de la courbe de M. Kapp donnant la perte totale dans 1 kg de fer en fonction de l'induction, dont il a été fait usage précédemment, nous trouvons que la perte totale d'énergie dans le fer de nos correcteurs est de 128 watts.

La perte totale d'énergie dans les correcteurs est donc de 392 watts.

9° *Circuits destinés à alimenter les correcteurs.* — Nous ferons ces circuits au nombre de six, chacun d'eux alimentant quatre correcteurs. Les courants qu'ils fourniront auront successivement pour intensité, pendant quatre intervalles consécutifs égaux à $\frac{1^s}{3000}$,

1,69 amp. ; 23,7 amp. ; 32,4 amp. ; 50,4 amp.

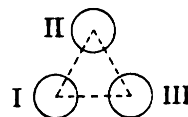
Pendant les vingt-six intervalles de temps égaux à $\frac{1^s}{3000}$ qui suivront, leur intensité demeurera nulle, et ainsi de suite.

Si l'on désigne par ρ leur résistance en ohms, la quantité de chaleur dégagée par eux par seconde est de

$$138,3\ \rho$$

Les choses se passent comme s'ils étaient parcourus par un courant continu ayant une intensité de $\sqrt{138^{am}} = 11^{amp},76$.

Comme nous le verrons plus loin pour ne pas donner une hauteur exagérée à notre transformateur, nous serons conduits à le



Redresseur

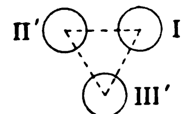


Fig. 70.

décomposer en deux appareils semblables que l'on disposera symétriquement par rappart au redresseur, comme il est représenté schématiquement sur la figure 70.

Le transformateur constitué par les noyaux

I, II, III desservira les circuits secondaires :

$$1, \quad 2, \quad 3, \quad \ldots, \quad 15,$$
$$31, \quad 32, \quad 33, \quad \ldots, \quad 45.$$

et l'autre transformateur desservira les autres circuits.

Nous disposerons un circuit de dix spires au-dessous de chacune des bobines secondaires de une spire désignées ci-dessous.

Autour du noyau I :

1° Bobine faisant partie du circuit branché entre les touches 3 et 4 du collecteur.

Autour du noyau II :

2° Bobine faisant partie du circuit branché entre les touches 9 et 10;
3° Bobine faisant partie du circuit branché entre les touches 13 et 14.

Autour du noyau III :

4° Bobine faisant partie du circuit branché entre les touches 19 et 20;
5° Bobine faisant partie du circuit branché entre les touches 23 et 24.

Autour du noyau I' :

6° Bobine faisant partie du circuit branché entre les touches 29 et 30.

Le premier circuit desservira les correcteurs dont les circuits secondaires seront intercalés dans les barres de connexion allant aux touches 3, 4, 5, 6 du collecteur.

Le deuxième circuit desservira les correcteurs des barres de connexion allant aux touches 7, 8, 9, 10.

Le troisième circuit desservira les correcteurs des barres de connexion allant aux touches 13, 14, 15, 16.

Le quatrième circuit desservira les correcteurs des barres de connexion allant aux touches 17, 18, 19, 20.

Le cinquième circuit desservira les correcteurs des barres de connexion allant aux touches 23, 24, 25, 26.

Le sixième circuit desservira les correcteurs des barres de connexion allant aux touches 27, 28, 29, 30.

Chacun de ces circuits sera constitué par une bande de cuivre épaisse de 1 mm et large de 18 mm, qui sera directement appliquée contre la carcasse isolante qui supportera les circuits secondaires.

Cette carcasse aura un diamètre intérieur de 300 mm et une épaisseur de 6 mm. Elle sera en carton micanité.

La longueur de chacune des spires des circuits que nous considérons sera de 947 mm.

On a pour la résistance ρ, en tenant compte des connexions,

$$\rho = 0{,}014 \text{ ohm}.$$

Le poids de cuivre nécessité par la confection de tous ces circuits sera de 10,66 kg.

La quantité de chaleur qui y sera dégagée sera de

$$138{,}3 \times 0{,}014 \times 6 = 11{,}62 \text{ watts}.$$

Mais la présence de ces circuits occasionnera un accroissement d'intensité dans les circuits primaires du transformateur qu'ils recouvriront.

L'intensité, au lieu de demeurer constamment égale à 0,45 ampère dans chacun de ces circuits, deviendra égale, pendant les quatre intervalles de temps de $\frac{1^s}{3000}$ considérés plus haut, à

$$0{,}493, \quad 0{,}670, \quad 0{,}740, \quad 0{,}884 \text{ ampère}.$$

La perte d'énergie dans chacun de ces circuits, au lieu d'être de 9,74 watts, comme nous l'avons calculée plus haut, sera égale à 11,3 watts.

Nous en tiendrons compte en évaluant la perte dans les 6 circuits de 10 spires à 21 watts au lieu de 11,62.

10° *Circuits secondaires.* — Nous avons déjà dit comment on les disposerait.

Nous les constituerons avec des bandes de cuivre de 95 mm de hauteur et de 4 mm d'épaisseur. L'isolant qui séparera deux spires d'une même bobine sera de 1 mm. Les bobines superposées seront séparées les unes des autres par des rondelles en carton de 4 mm d'épaisseur.

Nous admettrons que les portions de bandes qui serviront à établir les connexions aient 20 cm de longueur. Elles devront être repliées de champ, dès qu'elles seront dégagées de dessous les bobines afin que l'air puisse les lécher facilement comme des ailettes de calorifère.

Dans ces conditions, la longueur totale, le poids et la résistance de chaque bobine seront les suivants :

NOMBRE de spires de la bobine.	LONGUEUR totale de la bande.	POIDS de cuivre de la bobine.	RÉSISTANCE de la bobine.	CHALEUR dégagée dans la bobine.
	m	kg	μ	watts
1	1,70	5,74	90	8,1
2	2,72	9,24	143	12,85
3	3,75	12,70	198	17,80
4	4,80	16,20	353	22,76

L'appareil comporte 24 bobines de 1 spire.
» » 36 » de 2 »
» » 48 » de 3 »
» » 54 » de 4 »

Le poids de cuivre total du circuit secondaire est de

1 955 kg.

La quantité de chaleur qui y est dégagée, de

2 864 watts.

11° *Culasses*. — Elles seront disposées comme l'indique la figure 71, l'évidement

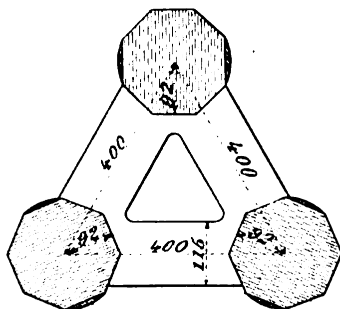


Fig. 71.

central ayant pour but de faciliter la circulation de l'air au milieu de l'appareil.

A égalité d'induction spécifique maximum, les sections des trois branches de la culasse devront être $\sqrt{3}$ fois plus petites que celle des noyaux, soit égales à $\frac{250}{\sqrt{3}} = 144$ cm².

En tenant compte des cotes de la figure 13, on trouve que le poids de chaque culasse est de 74 kg.

La hauteur de chaque noyau du transformateur est de 303 cm. Le poids total des tôles

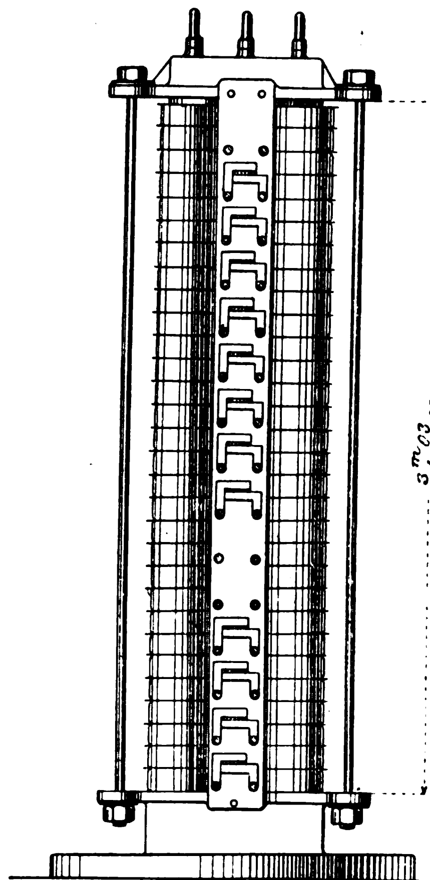


Fig. 72.

de fer employé dans la construction de l'appareil est de 3 860 kg et l'induction spécifique maximum qui y est développée est constamment égale à 5 760.

La perte totale d'énergie dans le fer est de

$3\,860 \times 1,2 = 4\,640$ watts.

12° *Résumé*. — Le poids total de fer entrant dans la construction de l'appareil, correcteur compris, est de

4148 kg,

soit 13,8 kg par kilowatt.

.....

Le poids total de cuivre (fil et ruban), est de

3 178 kg,

soit 10,58 kg par kilowatt.

La perte totale d'énergie dans le transformateur est de

10 000 watts;

son rendement est donc

$$\frac{300}{310} = 0,97.$$

L'appareil se compose de deux transformateurs semblables dont l'un est représenté sur la vue d'ensemble de la figure 72. Les correcteurs de chaque transformateur sont disposés, comme on le voit sur cette figure, sur une même planche métallique verticale qui porte en même temps les prises de courant et sert à entretoiser les deux chapeaux renfermant les culasses.

(*A suivre.*)

Maurice LEBLANC.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Régulateur automatique Tirrill de la différence de potentiel aux bornes d'une dynamo [1].

L'appareil qui fait l'objet de ce brevet est, comme principe, analogue à un régulateur de potentiel décrit dans le brevet anglais n° 1535, déposé le 28 janvier 1889, par Illius-Augustus Timmis; il diffère de ce dernier par des détails ayant pour but d'augmenter la sensibilité de l'appareil et d'éviter la détérioration des contacts par les étincelles de rupture ou de fermeture.

Il comprend deux solénoïdes A (fig. 1 et 2) placés en dérivation sur le circuit à régler et à l'intérieur desquels se meuvent deux noyaux en fil de fer B. Ces noyaux sont guidés dans leur mouvement par les tiges *c* passant à travers les trous de deux lames *d*. Ils sont suspendus aux extrémités de deux leviers C et D pivotés en *a*. Le levier D porte une roulette *g* s'appuyant sur l'extrémité en regard du levier C. Un ressort E muni inférieurement d'une vis de réglage *b* maintient les deux leviers horizontaux quand le courant normal traverse les solénoïdes; une lame flexible *h*, dont la flexion est réglée par la vis *i*, empêche un relèvement exagéré des extrémités en regard des leviers lorsque les noyaux s'abaissent sous l'action d'un courant trop intense traversant les solénoïdes. Le levier C porte un bouton de contact *f*, au-dessous duquel se trouve un second bouton soudé au ressort F; ce ressort est fixé en *l* au support G, qu'une vis *m* et un écrou de serrage *n* rendent solidaire de l'équerre H (fig. 3). L'appareil comprend en outre deux électro-aimants I et J dont nous allons voir l'usage et une résistance K.

La figure 4 montre les connexions des diverses parties de l'appareil entre elles et au circuit qu'il s'agit de régler; les fils et bornes de connexions sont également visibles sur la figure 1 et sont désignés sur les deux figures par les mêmes numéros d'ordre. Les deux points 1 et 4 des deux conducteurs d'alimentation 7 et 13 entre lesquels on veut maintenir une différence de potentiel à peu près constante malgré les variations du débit, sont reliés par un circuit dérivé 8 J 9 A 10 A 11 K 12 comprenant l'électroaimant J, les deux solénoïdes A et la résistance K, cette résistance ayant une valeur assez grande pour réduire l'intensité du courant dérivé à la valeur strictement indispensable pour le bon fonction-

[1] Brevet anglais n° 4276, déposé le 27 février 1899, accepté le 2 juin 1899.

nement de l'appareil. Un second circuit dérivé 14 15 L 16 *fk* 17 I 18 est établi entre les points 5 et 6 ; ce circuit est normalement fermé en 15, l'électro-aimant J étant toujours traversé par le courant de la dérivation principale, sauf dans un cas exceptionnel que nous indiquerons plus loin ; au contraire il est ordinairement ouvert en *fk*. Un troisième circuit 20, 3 *s t* 21 2 22, normalement ouvert en *st*, est établi en dérivation aux bornes de la résistance de réglage N de l'excitation de la dynamo.

Le fonctionnement de l'appareil est des plus simples. Supposons le ressort de rappel E des leviers C et D réglé de telle sorte que ces leviers soient horizontaux quand une certaine différence de potentiel existe entre les points 1 et 4 ; les deux contacts *f* et *k* sont alors séparés. Si la différence de potentiel entre 1 et 4 vient à diminuer par suite d'une

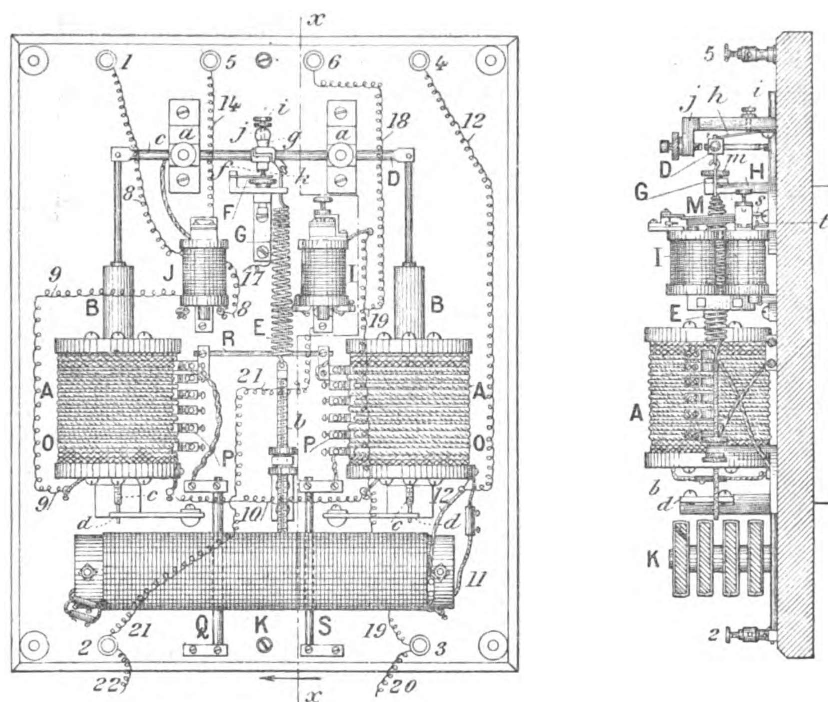


Fig. 1 et 2. — Vue de face et coupe *xx* du régulateur de potentiel Tirrill.

augmentation du débit, l'intensité du courant circulant dans les solénoïdes A diminue, les noyaux B se relèvent, les extrémités internes des leviers C et D s'abaissent et les contacts *f* et *k* se touchent. Un courant traverse alors le circuit dérivé établi entre 5 et 6 et l'électroaimant I situé sur ce circuit attire son armature et met en contact *s* et *t*. Par suite le rhéostat d'excitation N se trouve shunté, un courant plus intense traverse les inducteurs de la dynamo et la différence de potentiel aux bornes de celle-ci se relève. Si maintenant cette différence de potentiel vient à augmenter trop par suite d'une diminution du débit, les noyaux B des solénoïdes A s'abaissent, le contact *fk* est rompu, le contact *st* l'est ensuite et la résistance N est de nouveau introduite dans le circuit d'excitation. On arrive donc ainsi à maintenir la différence de potentiel entre des limites qui dépendent naturellement de la sensibilité de l'appareil et de l'importance des variations du débit.

Examinons le rôle de l'électro-aimant J. On voit que tant que le fonctionnement de l'ensemble de l'appareil est satisfaisant cet électro-aimant n'a pas d'utilité puisqu'il a simplement pour effet d'établir en 15 une fermeture que l'on pourrait effectuer par une

liaison fixe. Mais si le circuit dérivé principal entre 1 et 4 vient à être rompu, soit par suite d'une élévation anormale de différence de potentiel produisant un courant brûlant les bobines, soit pour toute autre cause, l'électro-aimant J abandonne son armature L et le circuit dérivé entre 5 et 6 se trouve rompu en 15. Or cette rupture est nécessaire. En effet dès que le courant cesse de circuler dans les solénoïdes A un contact se produit en *fk* et, si le circuit dérivé auxiliaire n'était pas rompu en 15, un courant s'établirait dans ce circuit; le relais I entrerait alors en jeu et mettrait en court circuit la résistance N et par conséquent produirait une augmentation de la différence de potentiel aux pôles de la dynamo pouvant être dangereuse pour les appareils d'utilisation branchés sur le circuit de la dynamo. L'électro-aimant J, a donc pour effet d'éviter cet inconvénient.

Fig. 3. — Détails des contacts des leviers.

Fig. 4. — Schéma des connexions.

Quant à l'électro-aimant I, il pourrait être supprimé; le fil 14 serait alors connecté à la borne 2 et le fil 17 à la borne 3, et la rupture ou la fermeture du circuit dérivé aboutissant aux extrémités de la résistance N s'effectuerait au moyen des contacts *fk*. Ce dispositif a été adopté dans les premiers appareils, mais lorsqu'il s'agit de régler des dynamos puissantes nécessitant un courant d'excitation intense, les contacts *f* et *k* ne tardent pas à être détériorés par les étincelles de rupture. L'emploi du relais I est donc préférable dans ce cas. D'ailleurs l'usage de relais a encore cet avantage qu'il permet facilement lorsque le circuit est alimenté par plusieurs dynamos, de faire varier en même temps et par le même appareil l'excitation de ces dynamos : il suffit de disposer autant de relais qu'il y a de dynamos.

Enfin ajoutons que dans certains appareils chacun des solénoïdes A comporte un enroulement supplémentaire O (fig. 1) divisé en sections aboutissant à des bornes de serrage P. Les deux enroulements supplémentaires sont reliés entre eux par la tige R et au circuit à régler par les bornes Q et S. Le courant qui les traverse circule dans le même sens ou dans le sens inverse de celui du courant traversant les enroulements A suivant que l'on veut augmenter ou diminuer l'action de ceux-ci sur les noyaux; en utilisant un nombre plus ou moins grand des sections des enroulements O, on fait varier la valeur de cette augmentation ou diminution. On arrive ainsi à un réglage très précis de la sensibilité de l'appareil. J. R.

Prix de revient de la tonne de carbure de calcium avec les différentes sources d'énergie;

Par F. Liebetanz [1].

Les conditions pour que l'industrie du carbure soit rémunératrice sont les suivantes :

[1] Mémoire présenté au deuxième Congrès de l'acétylène à Budapest, le 22 mai 1899 (*Zeitsch.ist für Elektrochemie*, t. VI, p. 117, 10 août 1899).

autant que possible, disposer d'une force motrice hydraulique bien située, et de matières premières de bonne qualité non grevées d'importants frais de transport. Peu de pays possèdent des forces hydrauliques et encore sont-elles souvent assez groupées. Or, le carbure de calcium est un produit dont le transport doit se faire à très bon compte, sous peine de nuire à l'industrie du produit secondaire : l'acétylène. Aussi, l'éclairage par ce gaz ne se développe-t-il que dans les contrées où le prix du carbure n'est que peu augmenté par le transport. En France, les plus grandes installations d'éclairage à l'acétylène sont dans le Midi, au voisinage de la Savoie, où l'on commence à produire du carbure en quantité notable.

On a proposé de produire l'énergie en utilisant la vapeur, la force des marées, les moteurs à vent, les gaz des hauts fourneaux, et même l'acétylène lui-même. En proposant ces différentes sources, l'inventeur, le plus souvent, avait en vue non de grosses usines de plusieurs milliers de chevaux, mais bien de petites installations. On est donc amené à se poser cette question : peut-on installer avec chances de bénéfices de petites usines à carbure et que rapportent-elles avec les différentes sources d'énergie possibles ? C'est à quoi l'auteur va chercher à répondre.

Pictet a calculé que pour produire un molécule de carbure (64 gr) à partir du mélange de chaux et de charbon, il faut fournir 182,5 grandes calories : sur ce chiffre, 102,6 servent réellement à produire le carbure, le reste n'est utilisé qu'à chauffer la masse. La production de 1 kg de carbure de calcium nécessite donc 2 850 calories ou 3 300 watts, soit 3,3 kws-heure, ou 4,5 chevaux-heure; c'est-à-dire que un cheval-jour produirait 5,3 kg de carbure.

D'autre part, et supposant que le maximum de production corresponde à 10 kg de carbure par cheval, le Dr Sieber a conclu que, en faisant abstraction de la quantité de chaleur nécessaire à porter le mélange à la température de réaction (3 000°), théoriquement on obtiendra 9,38 kg de carbure par cheval électrique (736 watts) et par 24 heures [1]. Ce chiffre concorde avec celui qui résulte des données de M. Pictet lorsqu'on néglige les 79,9 calories employées à l'échauffement du mélange.

Dans les usines, on ne peut évidemment atteindre ce rendement, puisqu'il faut tenir compte de l'énergie nécessaire pour chauffer le mélange. Le rendement pourrait même être inférieur à celui indiqué par M. Pictet. En effet, pour produire 1 kg de carbure, on emploie généralement 1,3 kg de charbon et 1,4 kg de chaux (quantités théoriques : 0,6 kg de charbon et 0,9 kg de chaux). Or, ce mélange pour 1 kg de carbure nécessite 5 130 watts-heure pour être amené à 3 000°, de sorte que 1 cheval électrique ne donnerait que 3,44 kg de carbure par 24 heures, en supposant que toute l'énergie dépensée pour amener à la température de réaction soit perdue pour la suite de l'opération. En fait, la production par cheval électrique oscillera entre 3,44 et 9,38 kg. Une société bien connue pour sa bonne fabrication, garantit par kilowatt et par 24 heures, 5 kg de carbure, mais considère comme facile d'obtenir 6 kg avec ses fours [2].

Pour obtenir 1 tonne de carbure, il faudrait donc, aux électrodes, 200 kilowatts, soit 272 chevaux. Il est bon de ne pas compter pour l'ensemble des machines sur un rendement supérieur à 75 p. 100, ce sera donc 340 chevaux qu'il faudra produire sur l'arbre du moteur. Pour être prudent, supposons encore une perte de 25 p. 100 pour la machine électrique, on arrive à 425 chevaux. Le four et les machines sont très rapprochés, aussi est-il légitime d'adopter seulement 7 p. 100 comme perte dans les conducteurs ; on arrive finalement à cette conclusion que, pour pro-

---

(1) *Chemische Zeitung*, 1898, n° 31, p. 308.

(2) L'auteur fait sans doute allusion à la Société exploitant l'usine de Méran, usine récemment installée en Autriche-Hongrie et dont une description a été donnée dans *L'Eclairage Électrique* du 6 mai 1899, t. XIX, p. 172. Rappelons que dans cette usine le prix de revient de la tonne de carbure de calcium serait de 186 fr. (N. d. l. R.)

duire 1 tonne de carbure, il faut disposer d'une machine motrice de 450 chevaux.

Voyons maintenant ce que coûtent ces 450 chevaux, avec les différentes sources d'énergie.

Le prix de la force motrice hydraulique se compose du prix de la chute, du prix de l'aménagement et de celui des moteurs hydrauliques. Des moyennes indiquent comme prix de la chute non aménagée 125 fr par cheval; le reste de la dépense peut s'évaluer à raison de 250 fr par cheval : le prix total par cheval est donc de 375 fr, pour une usine de 450 chevaux ce sera 168 750 fr. Si on compte 10 p. 100 d'amortissement, le prix d'installation ressortira par an à raison de 16 875 fr, soit 56 fr par jour, en comptant 300 jours d'utilisation par année.

Prenons maintenant la vapeur : la première chose à rechercher est un combustible bon marché. Avec des appareils courants,

Le charbon brun par kg et par heure donne environ 3 kg de vapeur.

Le charbon de terre par kg et par heure donne environ 8 kg de vapeur.

La tourbe par kg et par heure donne environ 2,75 kg de vapeur.

Le coke par kg et par heure donne environ 7 kg de vapeur.

Le bois par kg et par heure donne environ 4 kg de vapeur.

Admettons du charbon brun et une machine compound dépensant 6,5 kg de vapeur par cheval; par jour de 24 heures et pour 450 chevaux, on brûlera 23 400 kg de charbon. Comptons ce charbon à 3,75 fr la tonne, cela correspond à 87,75 fr par jour de 24 heures et à 26 325 fr par année de 300 jours.

La tonne de houille coûte à la mine 11,25 fr la tonne; la même machine que précédemment exigera 8 775 kgs de houille pour 24 heures; cela fait 98,70 fr par jour et 29 610 fr par année.

Quant au prix d'établissement d'une installation produisant 1 tonne de carbure par 24 heures, on peut l'évaluer comme il suit :

Une machine à condensation de 450 chevaux effectifs, 500 indiqués, pression d'admission 8 à 9 kgs	53 750 fr.
Une chaudière tubulaire de 458 m² de surface de chauffe, pression 8 atmosphères — avec tous ses accessoires. . .	16 250 —
Tout le reste de l'installation — en bloc.	58 750 —
En tout. . . .	128 750 fr.

La machine à vapeur et la chaudière coûtent donc 70 000 fr; l'amortissement est de 10 p. 100, cela fait 7 000 fr par an.

En ajoutant à l'amortissement des appareils de production de l'énergie la dépense annuelle de combustible, on obtient 36 610 fr dans le cas où l'on emploie de la houille, de sorte que la force motrice par jour revient à 125 fr.

Beaucoup d'autres dépenses s'ajoutent à celle-là; pour 1 000 kg de carbure, il faut 64 fr de matières premières, 20 fr d'électrodes, etc., de sorte que la dépense journalière graissage, salaires, impôts et amortissement compris est de 170 fr si on ne compte pas le prix de la force motrice, et de $170 + 125 = 295$ fr en comptant la force motrice. Pour les grandes installations hydro-électriques, la dépense journalière est de 160 fr, prix de la force motrice déduit, et $160 + 56 = 216$ fr avec la force motrice; la tonne de carbure ressort donc à 79 fr de moins avec l'eau qu'avec la vapeur.

Toutefois il convient de remarquer qu'avec la force motrice hydraulique, on est absolument à la merci du débit de la chute, et que l'emplacement de l'usine est absolument fixé. L'opportunité de la création d'une usine à vapeur pourra donc se présenter dans certains cas où les prix de transport au lieu de consommation à partir de l'usine à vapeur et à partir de l'usine hydraulique concurrente sont très différents.

L'idée d'employer les gaz de hauts fourneaux est d'autant plus naturelle qu'à proximité on trouve toujours le coke et souvent la chaux. Il y a avantage à se servir directement du gaz, car le rendement thermique d'un moteur à gaz est d'environ 20 p. 100 et celui d'un moteur à vapeur, 12 p. 100. La fabri-

cation du carbure de cette manière semble donc avoir un certain avenir. Des expériences ont été effectuées en Westphalie avec 2 fours électriques de 130 kilowatts; les résultats ont été, dit-on, très concluants.

D'après une statistique de Lürmann Osnabrück, une tonne de fonte brute correspond à la mise en liberté de 4 500 mètres cubes de gaz; en tenant compte de toutes les pertes, de la quantité de gaz utilisée pour la conduite du haut fourneau (environ 8 chevaux), il reste disponibles 12 chevaux par tonne de fonte brute. Pour toute l'Allemagne, le calcul basé sur la production indique 82 500 000 chevaux utilisables correspondant aux chaleurs perdues.

La puissance du vent ne peut pas faire l'objet d'essais sérieux en vue de la fabrication du carbure ; de même l'utilisation de la puissance de la marée n'est pas encore entrée dans la pratique.

Il faut citer encore une dernière source de puissance : c'est l'utilisation du courant des faibles chutes; elle est possible partout, et facilement M. von der Heydt, à Bendorf, a construit un barrage flottant dont le moteur est une turbine comprenant une seule aube disposée en hélice. Le rendement est de 60 p. 100, et on peut obtenir sur la roue les 540 chevaux nécessaires pour avoir 272 chevaux aux électrodes. Toute l'installation a coûté 94 000 fr ; les dépenses annuelles, à raison de 16 p. 100 d'amortissement, s'élèvent à 25 000 fr, le prix par jour de la force motrice est au total 84 fr et le prix du cheval-an 93 fr, soit 60 p. 100 de plus qu'avec une chute d'eau et 22 p. 100 de moins qu'avec la vapeur.

En résumé, on peut établir le tableau suivant pour les trois modes de production de l'énergie pouvant actuellement entrer en concurrence :

Coût de la puissance nécessaire pour fabriquer 1 000 kgs de carbure.

	Chute d'eau.	Vapeur.	Courant des rivières.
Frais d'installation. fr.	16 750	70 000	94 000
Frais d'exploitation annuels . . . . . . fr.	16 875	36 610	25 000
Frais d'exploitation journaliers . . . fr.	56	125	84
Prix du cheval-an électrique aux électrodes . . . . fr.	62	125	93
Prix de 1 000 kgs de carbure. . . . . . . fr.	216	295	244

J. G.

Sur l'aptitude explosive de l'acétylène mélangé à des gaz inertes;

Par BERTHELOT ET VIEILLE (¹).

L'emploi pour l'éclairage de mélanges d'acétylène et de gaz combustibles tels que le gaz d'huile, le gaz de houille, le gaz à l'eau, etc., a suscité diverses recherches en vue de reconnaître les propriétés explosives de ces mélanges et de réglementer leur mode d'emploi. Dans le mémoire qui nous occupe, MM. Berthelot et Vieille rendent compte des résultats que leur a fourni l'étude de mélanges formés, les uns d'acétylène et d'hydrogène, les autres d'acétylène et de gaz d'éclairage(²).

Le mélange était préparé sous la pression ordinaire dans un gazomètre à cuve annulaire, de 100 litres de capacité. Il était ensuite aspiré, refoulé et comprimé par une pompe Golaz, dans une éprouvette en acier, munie d'un appareil crusher pour la mesure des pressions et d'un dispositif d'allumage par fil métallique porté à l'incandescence au moyen d'un courant électrique. Cette éprou-

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 777-783, séance du 27 mars 1899.

(²) Les propriétés explosibles de l'acétylène pur et de l'acétylène dissous ont été indiquées dans les mémoires suivants, reproduits ou analysés dans ce journal :

Recherches sur les propriétés explosibles de l'acétylène, BERTHELOT et VIEILLE, t. IX, p. 130;

Conditions de propagation de la décomposition de l'acétylène pur, BERTHELOT et VIEILLE, t. XII, p. 95.

Sur la vitesse de détonation de l'acétylène, BERTHELOT et LE CHATELIER, t. XX, p. 433.

Aptitude à la détonation et à l'inflammation de l'acétylène dissous dans l'acétone, BERTHELOT et VIEILLE, t. XII, p. 94.

vette était alors isolée de la pompe et du gazomètre par la fermeture d'un robinet à pointeau. Un flacon laveur à eau, de très petites dimensions, était interposé entre la pompe et le gazomètre afin de prévenir tout risque de propagation de la flamme et de l'explosion jusqu'au gazomètre.

Trois séries d'essais ont été faits. La première série a porté sur des mélanges renfermant 25 p. 100 en volume d'acétylène et 75 p. 100 d'hydrogène ou de gaz d'éclairage. Dans les essais de la seconde série, la proportion d'acétylène a été portée à 33,3 p. 100; dans ceux de la troisième à 50 p. 100.

Les tableaux suivants résument les résultats. Les chiffres de la première colonne indiquent les pressions initiales P_i des mélanges exprimées en kilogrammes par centimètre carré. Ceux de la seconde, les pressions finales P_f exprimées au moyen de la même unité; lorsque la réaction ne s'est pas propagée dans toute la masse, le fait est indiqué par n. p. (non propagation). La troisième colonne donne le rapport $\frac{P_f}{P_i}$ de la pression finale et de la pression initiale. La quatrième donne le rapport de la pression finale à la pression initiale de l'acétylène P_a c'est-à-dire le produit du rapport précédent par 4, 3, ou 2, suivant la série d'essais considérée. Dans la cinquième sont consignées quelques observations.

L'examen de ces tableaux conduit aux remarques du tableau suivant.

1° Pour tous les mélanges examinés l'accroissement proportionnel de la pression est d'autant plus faible que la pression initiale est moindre : ce qui accuse l'influence d'un refroidissement croissant exercé par les parois à la fois en raison de la masse relative moindre des gaz intérieurs et de la durée plus grande du phénomène explosif.

2° Les mélanges les plus riches en acétylène sont à peu près les seuls qui aient fait explosion sous les faibles pressions; mais aussi ce sont ces mélanges qui ont fourni les plus grandes irrégularités des pressions fina-

P_i	P_f	P_f/P_i	P_f/P_a	OBSERVATIONS
kg : cm²	kg : cm²			
Première série : 25 acétylène et 75 hydrogène.				
41,3	145,6	3,51	14	Propagation. Éprouvette pleine de charbon.
41,3	147,8			
30,9	105	3,39	13,6	
20,6	63	3,05	12,20	
20,6	61,5			
10,3	n. p.	2,14	8,56	3 propagations sur 6 expériences. filaments charbonneux dans les cas de non propagation.
10,3	»			
10,3	20,6			
10,3	23,4			
10,3	22,1			
10,3	n. p.			
7,2	»	»	»	Dépôt charbonneux sur le fil.
7,2	»			
7,2	»			
7,2	»			
7,2	»			
7,2	»			
Première série : 25 acétylène et 75 gaz d'éclairage.				
40,2	n. p.	2,66	10,64	Très léger dépôt charbonneux sur le fil. Les 2 derniers essais amorcés par le fulminate de mercure.
40,2	»			
40,2	107			
40,2	n. p.			
40,2	»			
40,2	»			
Deuxième série : 33,3 acétylène et 66,6 hydrogène.				
10,3	29,8	2,86	8,58	5 propagations sur 5 expériences.
10,3	29,8			
10,3	29,8			
10,3	28,7			
10,3	29,8			
7,2	n. p.	»	»	1 propagation sur 6 expériences.
7,2	11			
7,2	n. p.			
7,2	»			
7,2	»			
7,2	»			
4,1	»	»	»	Pas de propagation sur 5 expériences.
4,1	»			
4,1	»			
4,1	»			
4,1	»			
Deuxième série : 33,3 acétylène et 66,6 gaz d'éclairage.				
29,9	112,5	3,68	11,04	4 propagations sur 4 essais.
29,9	109,5			
29,9	108,2			
29,9	<123			

P_i	P_f	P_f/P_i	P_f/P_a	OBSERVATIONS
kg : cm²	kg : cm²			
21.1	67,8			
21.1	70,7			4 propagations sur
21.1	72,1	3.35	10.15	4 essais.
21.1	72.1			
12.4	n. p.			Pas de propagation
12.4	»			sur 5 essais.
12.4	»	»	»	Léger dépôt char-
12.4	»			bonneux sur le fil.
12.4	»			
Troisième série : 50 acétylène et 50 hydrogène.				
41.3	221	5.55	11	
41.3	241			
22,6	110.4	4.9	9.8	
6.2	14.8			
6.2	18			
6.2	14.8	2,7	5.4	5 propagations sur
6.2	26.2			5 essais.
6.2	12.6			
4.1	n. p.			
4.1	»			
4.1	11	2.6	5.2	2 propagations sur
4.1	11			6 essais.
4.1	n. p			
4.1	»			
3.1	»			Pas de propagation
3.1	»			sur 5 essais.
3.1	»	»	»	Léger dépôt char-
3.1	»			bonneux sur le fil.
3.1	»			
Troisième série : 50 acétylène et 50 gaz d'éclairage.				
12.4	49			
12.4	50			Éprouvette remplie
12.4	(23.4)	3.79	7.58	de charbon.
12.4	42			
7.2	11			
7.2	18			
7.2	18			Éprouvette remplie
7.2	22.2			de charbon.
7.2	n. p.			8 propagations sur
7.2	»	2.68	5.36	12 essais.
7.2	19.6			Champignon char-
7.2	n. p.			bonneux sur le fil.
7.2	»			
7.2	19.6			
7.2	18.2			
7.2	22.7			
4.1	n. p.			
4.1	»			
4.1	»	»	»	
4.1	»			
4.1	»			

les, répondant à un même système initial; circonstance attribuable à la condensation moindre des mélanges gazeux, laquelle tend à la fois à ralentir la réaction et à exagérer l'influence du refroidissement, parce que la masse du mélange gazeux devient plus petite, par rapport à celle de l'éprouvette qui le renferme.

3° La propagation de l'explosion cesse d'avoir lieu vers une limite de pression initiale d'autant plus élevée, que le mélange est moins riche en acétylène. Cette limite était située vers 4 kg : cm², avec le mélange à volumes égaux d'hydrogène; vers 7 kg : cm², avec le mélange renfermant deux tiers d'hydrogène; vers 10 kg : cm² avec le mélange qui contient 3 volumes d'hydrogène pour 1 volume d'acétylène.

Pour les mélanges formés avec le gaz d'éclairage, les pressions limites sont encore plus hautes : soit 7 kg : cm² à volumes égaux; supérieures à 12 kg : cm² pour les deux tiers de gaz inerte; enfin voisines de 40 kg : cm² pour le mélange qui contient seulement un quart d'acétylène.

Ces limites pourraient être abaissées, surtout pour les faibles pressions, si l'on opérait avec des récipients d'une capacité considérable, dans lesquels la température de la masse centrale du gaz n'aurait pas le temps d'être refroidie au contact des parois.

En admettant les valeurs observées, les nombres de la première série montrent que la probabilité d'explosion $\frac{1}{2}$ se rencontre vers la pression de 10 kg : cm², avec l'hydrogène, et vers celle de 45 kg : cm² seulement avec le gaz d'éclairage ordinaire dans les mélanges renfermant 25 p. 100 d'acétylène en volume.

Les nombres de la deuxième série montrent que la probabilité d'explosion $\frac{1}{2}$ s'obtient vers la pression de 8 kg : cm², avec l'hydrogène, et vers la pression de 17 kg : cm², avec le gaz d'éclairage, dans les mélanges renfermant 33 p. 100 d'acétylène en volume.

Les données de la troisième série conduisent à attribuer la probabilité d'explosion $\frac{1}{2}$ à

une pression voisine de 4,5 kg : cm², pour l'hydrogène, et de 6,5 kg : cm² pour le gaz d'éclairage dans les mélanges renfermant 50 p. 100 d'acétylène en volume.

Le risque sera donc toujours diminué par la présence du gaz d'éclairage, c'est-à-dire d'un gaz riche en formène, composé décomposable avec absorption de chaleur.

En terminant leur mémoire, MM. Berthelot et Vieille tirent les conséquences pratiques suivantes de leurs essais :

« En résumé, ces premiers exemples suffisent à établir que les pressions limites, assurant l'explosibilité des mélanges d'acétylène et des gaz inertes, convergent avec une extrême rapidité vers les valeurs correspondant à l'acétylène pur, au fur et à mesure que la teneur de ce gaz dans les mélanges augmente.

» La loi de cette croissance est essentiellement variable avec la nature du gaz inerte utilisé ; le choix de ce dernier gaz joue donc un rôle important dans la sécurité d'emploi, aussi bien que dans les questions pratiques de rendement lumineux et de prix de revient.

» Les gaz décomposables avec absorption de chaleur paraissent aptes à diminuer le risque d'explosion de l'acétylène auquel ils sont mélangés, en absorbant pour leur propre compte une portion de l'énergie interne du composé endothermique et explosif. Mais par là même ils abaissent la température développée dans la décomposition propre de l'acétylène, aussi bien que dans sa combustion et ils en amoindrissent dès lors, dans une certaine mesure, les propriétés éclairantes. C'est entre ces deux ordres de phénomènes que l'industrie doit se tenir, en recherchant les conditions à la fois les moins périlleuses pour la pratique et les plus favorables pour l'éclairage. »

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur les rayons cathodiques ;

Par A. Wehnelt [1].

D'après Wiedemann et Ebert, d'après Goldstein, les rayons cathodiques peuvent se couper sans être en rien troublés dans leur propagation. Ces physiciens ont démontré que la répulsion apparente des rayons cathodiques est un phénomène secondaire qui résulte des phénomènes de déflexion. Au contraire, Lehmann s'appuyant sur des observations de L. Weber et de Matthiessen, admet que les rayons se propageant dans des directions concourantes se repoussent. Ces derniers ont trouvé que les rayons émis par une cathode concave donnent au delà du point de convergence une image droite des objets placés entre la cathode et le point de convergence ; cette image devrait être renversée si les rayons se croisaient. D'après eux, les rayons cathodiques suivraient le chemin figuré sur la figure 2 et non celui de la figure 1 comme on le croyait.

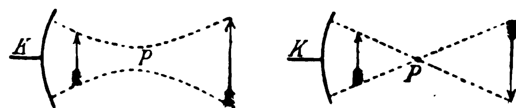


Fig. 1 et 2.

Or ces apparences s'expliquent d'une manière simple d'après les expériences qui vont être décrites.

I. *Tubes avec armatures extérieures.* — Les tubes ont la forme sphérique : leurs diamètres sont respectivement de 6, 5, 4 centimètres. Les électrodes ont la forme, déjà employée par L. Weber, d'étoiles triangulaires (fig. 3) d'une part ; d'autre part, ce sont des anneaux de clinquant. La source de courant est une petite bobine ou une machine à

[1] *Wied. Ann.*, t. LXVIII, p. 584-593, juillet 1899.

influence à 20 plateaux : cette dernière donne des phénomènes plus nets.

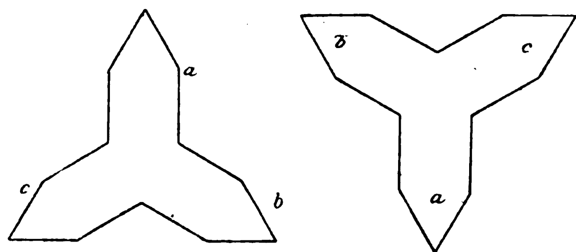


Fig. 3 et 4.

A la pression de 2 mm, il apparaît sur la paroi opposée à l'électrode en étoile, une image exacte de celle-ci, mais renversée (fig. 4) : le point de concours des rayons est facile à reconnaître au centre de la sphère, si on enlève l'un des bras de l'étoile, celui de droite en bas (*b*, fig. 3), par exemple, c'est celui de gauche en haut qui disparaît sur l'image (*b*, fig. 4).

A la pression de 0,4 mm, quand l'étincelle en dérivation est courte, les phénomènes restent les mêmes, à cela près que les pointes de l'étoile sont plus brillantes et un peu plus larges, ainsi que le centre. Si on augmente la longueur de l'étincelle dérivée, des arcs de cercle dessinés par une fluorescence verdâtre partent des pointes de l'étoile et l'image prend la forme d'un triangle sphérique (fig. 5), dont

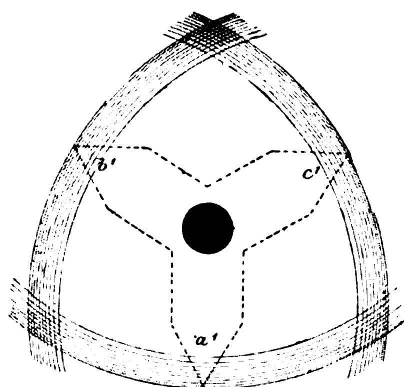


Fig. 5.

les côtés sont plus larges et d'un éclat plus vif dans leur partie médiane (a_1, b_1, c_1). Ces arcs de cercle correspondent aux faisceaux divergents signalés par MM. Wiedemann et Schmidt [1].

A mesure que la pression diminue, le triangle se dessine de plus en plus nettement et quand la pression est descendue à 0,1 mm, les contours présentent un éclat à peu près uniforme ; seulement les sommets où les deux arcs se coupent sont plus brillants.

Une autre preuve que les rayons cathodiques peuvent se couper est donnée par l'observation suivante. Un tube sphérique porte un tube latéral dans lequel se trouve un fil de fer droit ; au moyen d'un aimant on peut avancer ce fil sur le trajet des rayons cathodiques. Si on vise l'électrode de l'extrémité de l'ombre du fil par l'extrémité de ce fil, on voit tout de suite que les rayons émanés des différents points de la cathode se croisent.

Les rayons émanés d'une cathode concave doivent donc se couper. Cela étant, l'observation de L. Weber peut s'expliquer de deux manières ; ou bien, il a été induit en erreur par la vue du triangle assez facile à confondre avec une image droite de l'étoile : ou il est encore possible, puisque le point de concours des rayons s'éloigne de plus en plus quand la pression diminue, qu'il se soit trouvé en dehors du récipient ; ce qui permettrait à une image droite, diminuée, de se produire.

II. *Tubes avec électrodes intérieures.* — Dans les tubes à électrodes concaves intérieures, il se produit, outre les rayons cathodiques diffus se propageant dans toutes les directions, deux autres faisceaux de rayons, particulièrement nets et tout à fait différents l'un de l'autre. Les uns K_1 sont les rayons ordinaires bien connus, qui partent à peu près dans les directions normales à la cathode et par suite convergent plus ou moins exactement en un point. Les autres K_2, qui n'ont pas encore été signalés, se propagent à peu près parallèlement à l'axe du tube, quelles que soient la courbure ou l'inclinaison de la

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XVI, p. 81.

cathode. Ils forment un cylindre recouvrant toute la surface de la cathode ; mais ils ne provoquent pas la luminescence avec autant d'énergie que les rayons K_1 ; aussi ne peut-on les observer que dans certaines conditions expérimentales.

Ces rayons K_2 sont moins déviés par l'aimant que les rayons K_1.

Un tube cylindrique dont le diamètre est d'environ 4 cm, porte comme cathode un miroir concave S (fig. 6) en aluminium ou en

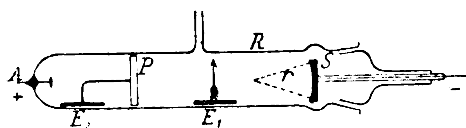


Fig. 6.

zinc, soigneusement tourné et poli : le rayon de courbure de ce miroir est de 3 à 12 cm ; son ouverture de 2 à 4 cm. Sur un morceau de tôle de fer E_1, qui épouse la forme du tube, on peut placer des écrans en mica, de formes diverses. L'écran luminescent est un bloc de craie P taillé bien plan, qui est porté par un fil soudé à une autre lame de fer E_2. De cette manière on peut déplacer séparément les deux écrans, au moyen d'un aimant. Les phénomènes sont les mêmes que le tube soit excité par la bobine ou par la machine à influence. Il est également indifférent que l'écran qui porte ombre soit formé d'un conducteur ou d'un diélectrique.

Rayons cathodiques K_1. — Le vide était poussé assez loin pour qu'il ne se produisît aucune fluorescence sur le verre, mais que cependant le trajet des rayons K_1 fût nettement visible et que la craie fût luminescente. La distance entre la cathode et l'écran de craie était égale au diamètre de la cathode ; le point de concours des rayons se trouvait ainsi au milieu de l'intervalle. Sur l'écran, on observe une tache fluorescente dont le diamètre est à peu près égal à celui de la cathode. Les écrans de forme diverse, flèches, étoiles, etc., projettent toujours sur l'écran une silhouette renversée, du moment où ils se trouvent entre la cathode et son foyer. On peut donner à l'expérience une forme très caractéristique. Sur un anneau de carton R de même section que le tube est fixée une tige de verre G (fig. 7). L'anneau

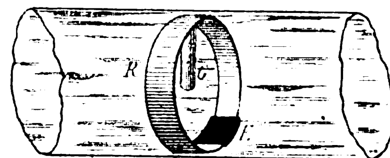


Fig. 7.

porte un morceau de tôle E, sur lequel on fait agir un aimant de manière à faire tourner l'anneau autour de l'axe du tube, ou à le déplacer suivant cet axe. Quand la tige de verre se trouve entre la cathode et son foyer, et qu'on fait tourner l'anneau, l'ombre portée par la tige tourne dans le même sens, mais toujours sur le côté opposé.

Les rayons cathodiques K_1 peuvent donc se couper.

Rayons cathodiques K_2. — Lorsque l'écran A se trouve au foyer même de la cathode, en P (fig. 8) on ne devrait avoir aucune ombre sur la craie.

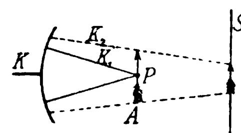


Fig. 8.

Or en réalité, on aperçoit sur un fond faiblement lumineux une ombre *droite* quelque peu diminuée. Il faut en conclure qu'outre les rayons K_1, il part de la cathode d'autres rayons K_2 faiblement convergents (marqués en traits interrompus sur la figure 8). Cette ombre n'est pas visible dans les expériences précédentes, parce qu'elle se trouve noyée dans la fluorescence des rayons K_1, qui est beaucoup plus vive que celle des rayons K_2 ; dans la dernière expérience, ces rayons K_1, sont complètement interceptés par l'écran placé au foyer et l'ombre droite devient visible.

Si on diminue la pression jusqu'à ce que le verre des parois devienne fluorescent, on sait que le point de concours des rayons K_1 s'éloigne de plus en plus de la cathode. L'ombre portée devient de plus en plus floue, parce qu'il faut éloigner l'écran de craie, mais cependant on reconnaît encore que l'image est renversée. Par contre, l'image droite devient plus nette et pour une pression assez basse, cette image est de dimensions égales à celles de l'objet. Les rayons K_2 paraissent maintenant parallèles à l'axe du tube.

On a encore d'autres preuves de l'existence de ces rayons. On peut placer le corps qui porte ombre tout près de l'écran de craie, puis approcher le corps et l'écran de la cathode, en maintenant constante leur distance respective.

Tant qu'on est loin de la cathode, on observe une seule ombre à bords flous ; les deux images K_1 et K_2 se recouvrent presque complètement (fig. 9).

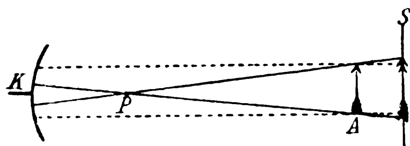


Fig. 9.

Si on approche le corps et l'écran du point de convergence, l'ombre donnée par les rayons K_1 grandit rapidement, tandis que l'ombre donnée par les rayons K_2 conserve les mêmes dimensions. La première est faiblement éclairée par les rayons K_2, tandis

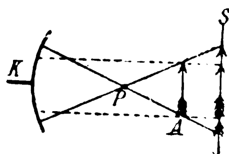


Fig. 10.

que l'ombre K_2 est tout à fait obscure, elle se trouve en effet dans la pleine ombre (fig. 10).

Si l'écran A se trouve justement au point de convergence, on observe seulement l'ombre donnée par les rayons K_2 ; de même si l'écran de craie se trouve en ce point (fig. 11).

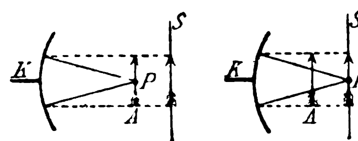


Fig. 11 et 12.

Si l'écran S et le corps A se trouvent tous les deux entre la cathode et le point de convergence, on a de nouveau deux images ; mais cette fois, l'image K_1 est plus petite que l'image K_2 (fig. 12).

On peut aussi démontrer que les rayons K_2 se propagent toujours parallèlement à l'axe du tube, en prenant une cathode concave mobile autour d'un axe incliné sur son axe de figure (fig. 13). Si la cathode est orientée

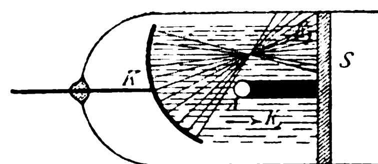


Fig. 13.

de manière que les rayons K_2 ne puissent plus rencontrer l'écran, on obtient encore une ombre sur cet écran.

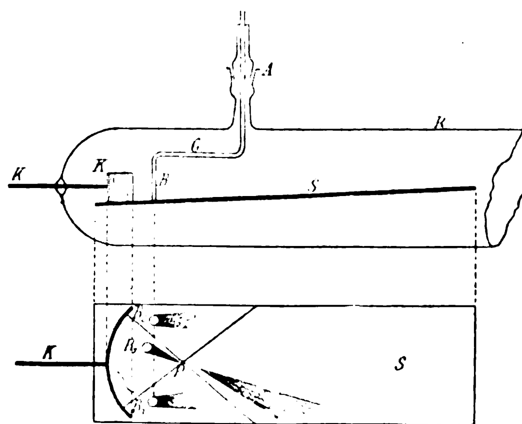


Fig. 14.

Enfin, en prenant une cathode cylindrique K, il est possible d'observer sur un long écran de carton S, frotté de craie, le phénomène dans son ensemble (fig. 14). Au

moyen du rodage A, on peut faire tourner le tube de verre G, courbé deux fois à angle droit et faire mouvoir le bras B qui porte ombre. Si on déplace ce bras dans l'intérieur du faisceau de rayons K_1 qui produit la fluorescence, on vérifie aisément par la forme de l'ombre en avant et en arrière du point de convergence P que ce point est réellement un point d'intersection des rayons cathodiques (B_1, fig. 14).

Quand le bras B est en dehors du faisceau K_1, en B_2 ou B_3, il projette encore une ombre ; cette ombre est faiblement convergente aux pressions élevées, mais à très peu près parallèle à l'axe du tube quand la pression est basse. Ces ombres ont des bords très flous parce qu'elles sont éclairées par tous les rayons diffus.

De toutes ces expériences, il résulte que les rayons cathodiques connus jusqu'ici et qui sont normaux ou quasi normaux à la surface de la cathode, se croisent et ne peuvent par conséquent donner une ombre droite des corps placés entre la cathode et le point de convergence. Outre ces rayons, il en existe d'autres, qui sont toujours parallèles à l'axe du tube, quelle que soit la position de la cathode. La présence de ces derniers explique la formation des ombres droites, dans les cas où celles-ci sont observées avec certitude.

M. L.

CHRONIQUE

Essais comparatifs de chauffage manuel et de chauffage mécanique des chaudières. — M. Georges H. Barrus a récemment fait aux Tremont and Suffolk Mills, de Lowell, Mass., des essais sur une batterie de quatre chaudières verticales Corliss, en vue de reconnaître si, la substitution du chauffage mécanique au chauffage à bras d'hommes permet de réaliser, comme les fournisseurs s'y étaient engagés, par contact, une économie de combustible de 10 p. 100 au minimum. Ces essais ont montré que l'économie peut atteindre plus de 15 p. 100 ; ils ont en outre permis de se rendre compte de la depense de vapeur nécessaire pour faire mouvoir les appareils mécaniques de chauffage.

Le *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France* donne dans son dernier numéro (juin 1899, p. 1 046) les renseignements suivants sur ces essais d'après un article publié par *Engineering Record :*

Chacune des quatre chaudières se composait d'un corps cylindrique de 2,14 m de diamètre contenant 268 tubes de 57 mm de diamètre et 3,97 m de longueur, placé sur une boîte à feu de 1,95 m de côté et 1,50 m de hauteur. La surface totale de grille était, pour les quatre chaudières, de 13,34 m², la surface de chauffe en contact avec l'eau de 543,86 m et la surface de chauffe en contact avec la vapeur de 194,83 m².

Dans trois chaudières, les intervalles des barreaux de grille étaient de 15 mm, donnant un vide de 40 p. 100 de la surface, tandis que dans la quatrième, ce vide atteignait 50 p. 100. L'air nécessaire au tirage était fourni par un ventilateur Sturtevant, actionné par une machine à régulateur automatique. La vapeur employée par cette machine et par les quatre moteurs actionnant les appareils de chauffage était mesurée par un orifice calibré pratiqué dans la conduite de vapeur. Des manomètres placés avant et après l'orifice donnaient la charge en vertu de laquelle la vapeur s'écoulait. On a trouvé, ainsi que les cinq machines consommaient ensemble 144 kg de vapeur par heure. Cette quantité représente très sensiblement 1,9 p. 100 de la vapeur fournie par les quatre chaudières.

Les essais ont porté sur le pouvoir de vaporisation des chaudières ; ils ont été faits d'après les méthodes généralement employées par M. Barrus qui est un spécialiste dans la matière.

L'eau était jaugée et introduite dans les chaudières par un tuyau spécial pour chacun. Pendant les essais avec le chauffage manuel, on a employé les chauffeurs ordinaires de l'usine sous la direction du mécanicien en chef de celle-ci. Les feux ont été maintenus à une épaisseur de 0,30 à 0,37 m et surveillés constamment. Pendant les essais avec le chauffage mécanique la conduite était confiée au personnel de l'usine sous la surveillance du repré-

sentant des fournisseurs des appareils. Les feux étaient maintenus à une épaisseur de 25 à 30 cm sur les côtés. Le tirage maximum a été de 90 mm et le minimum de 45 mm de hauteur d'eau. Les deux essais ont duré 12 heures chacun et la marche des chaudières a été suspendue pendant une heure, à midi.

Dans l'essai du chauffage mécanique, une analyse des gaz a été faite avec l'appareil Orsat; on a constaté les résultats suivants : acide carbonique 11,65 p. 100; oxygène, 7,9 p. 100; oxyde de carbone, 0,15 p. 100 et azote obtenu par différence, 80,3 p. 100.

D'après ces chiffres, on a employé 20,3 kg d'air par kilogramme de carbone et on a obtenu 21,3 kg de gaz secs. Si on admet que la proportion du carbone dans le combustible était de 89 p. 100 et celle de l'hydrogène 4, on trouve que 80,9 p. 100 de calorique ont été utilisés par la vaporisation; 11,3 p. 100 entraînés par les gaz chauds; 2,8 p. 100 perdus à évaporer l'eau du combustible et celle qu provenait de la combustion de l'hydrogène; 0,8 p. 100 par l'oxyde de carbone non brûlé et 4,6 p. 100 par le rayonnement, la fumée, les cendres, etc.

La vaporisation par kilogramme de combustible sec a été, pour le chauffage manuel de 10,17 litres d'eau à 100° C transformés en vapeur à 100°. Si on tient compte de la quantité employée pour faire marcher les appareils auxiliaires. la vaporisation par kilogramme de combustible sec ressort à 11,79 kg de vapeur à 100° C pour le chauffage mécanique. Ce chiffre correspond à un accroissement de 15,9 p. 100 par rapport au chauffage manuel, ce qui représente plus de une fois et donne le chiffre garanti. Voici du reste, les données et résultats des expériences :

	Chauffage manuel	Chauffage mécanique
Nature du charbon	New River	New River
Humidité p. 100	3,5	0,7
Durée de l'essai . . . heures	10	10,6
Cendres p. 100 . . . kg.	5,9	6,5
Charbon brûlé par heure et par mètre carré de grille. kg.	100	»
Chevaux correspondants à 13,6 kg de vapeur	811,2	749,4
Vaporisation par mètre carré de surface de chauffe et par heure	20,5	19,0
Pression moyenne aux chaudières	7,85	7,66
Température moyenne de l'eau d'alimentation	18,9° C	6,90
Température moyenne des gaz à la sortie	232° C	209
Tirage moyen en millimètres d'eau	10,6	5,1
Surchauffe en degrés centigrades	29° C	18,8
Calories par kilogramme de charbon	»	3636
Calories par kilogramme de combustible	»	3839
Vaporisation par kilogramme de charbon	10,17	11,97
Vaporisation par kilogramme de combustible sec	10,82	12,80
Rendement en centièmes	»	80,5
Économie obtenue avec le chauffage mécanique	»	11,79
Économie obtenue en tenant compte de la vapeur employée pour le fonctionnement des appareils	»	15,9

Le service téléphonique interurbain en Italie. — Les communications téléphoniques sont assez peu développées en Italie, et le réseau actuel est loin de satisfaire aux exigences de l'industrie et du commerce de ce pays. La circulaire ministérielle de 1897 en faisant prévoir des modifications à la loi de 1892 a supprimé toute initiative à cause de l'incertitude où l'on s'est trouvé et où l'on se trouve encore, puisque rien n'est venu continuer les projets antérieurs.

Le nouveau ministre des postes et télégraphes, le marquis de San Giuliano a rédigé un projet qui parait répondre aux besoins immédiats du pays. La figure 1 représente par les lignes pleines le réseau interurbain actuel et par les lignes ponctuées les communications projetées.

Voici les principales dispositions que la clôture de la session parlementaire a empêché de discuter et qui pourraient bien de ce fait être remises à une date lointaine.

Le gouvernement est autorisé à construire et exploiter les lignes téléphoniques avec faculté de les céder à l'industrie privée.

Les lignes internationales ainsi que les lignes les plus importantes de l'Italie sont exploitées par l'État.

Le gouvernement peut recevoir des fonds par anticipation de la part des provinces, communes ou chambres de commerce pour la construction immédiate des lignes projetées ou de nouvelles lignes.

Le ministre est autorisé à employer une partie des bénéfices des lignes exploitées à l'installation de nouveaux circuits et au rachat des lignes concédées.

Le tarif de conversation sur toutes les lignes du réseau est fixé pour trois minutes de la façon suivante :

0,50 fr sur les lignes de longueur ne dépassant pas 100 km ;

1 fr sur les lignes de 101 à 250 km ;

1,50 fr de 251 à 400 km ;

2 fr au-dessus.

Quand la conversation se fait par l'intermédiaire de deux ou plusieurs lignes, le tarif résultant est la

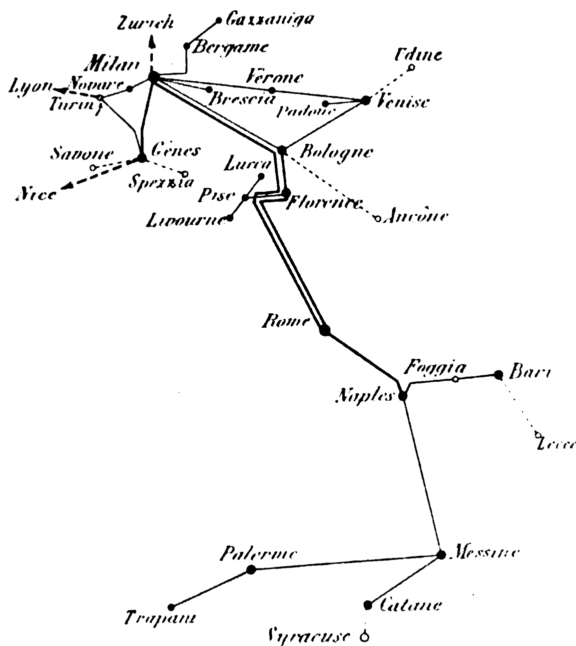


Fig. 1. — Lignes téléphoniques interurbaines en Italie.

somme des tarifs partiels. Pour les communications pressées le tarif est triple. Les tarifs pour les communications internationales seront établis par conventions ultérieures.

La correspondance du domicile de l'abonné est autorisée. G. G.

Mise en parallèle d'alternateurs situés dans des stations éloignées (*Notes sur la transmission à grande distance*). — M. R. W. Van Norden a présenté à la troisième réunion annuelle de la « Pacific Coast Electric Transmission Association » (San Francisco, 20 et 21 juin 1899), un court mémoire qui est d'un certain intérêt : en effet il donne des exemples de stations synchronisées à distance et tous les ingénieurs ne voudraient pas se hasarder à une telle tentative.

Il est question de l'usine d'Auburn qui doit être mise en parallèle avec celle de Newcastle, distante de 8,5 km environ. Beaucoup de bons esprits estimaient la chose impossible, car la capacité de la ligne est petite et ils croyaient qu'il en résulterait un décalage des courants ou un changement dans la courbe de force électromotrice et que les machines pomperaient le courant ou se décrocheraient. En fait, on n'a remarqué rien de tel.

Tout le réglage se fait à la main et à la station 1. La station 2 se met en marche avec une charge déterminée et suivant l'augmentation de la charge totale, la station 2 accroit de 100 chx la sienne propre, à intervalles réguliers, toutes les heures ou toutes les demi-heures, jusqu'à atteindre le maximum. Quand la consommation baisse, on agit à l'inverse, jusqu'à retirer complètement la station 2.

Si, pour quelque raison, le générateur de la station 2 est trop excité, on peut remédier à cela en surexcitant légèrement ceux de la station 1 : il en résulte de faibles courants de circulation qui se traduisent par des oscillations très lentes, mais régulières des voltmètres.

La distance semblerait avoir un effet de tampon : il ne parait pas nécessaire que les générateurs soient aussi bien synchronisés que s'ils étaient côte à côte. L'auteur considère donc le problème comme résolu. Il signale que la ligne était posée sur des poteaux en sapin avec isolateurs en verre. On avait fait bouillir les poteaux dans la paraffine jusqu'à complète imbibition : cela a donné d'excellents résultats. J. G.

Propriétés magnétiques des corps simples. — M. St-Meyer a mesuré (*Wied. Ann.*, t. LXVIII, p. 325-334) la susceptibilité magnétique d'un grand nombre de corps simples. Les uns, sous forme de poudre, étaient enfermés dans un petit tube de verre cylindrique ; ce tube de verre est suspendu par un fil d'aluminium au fléau d'une balance sans fer, et se trouve dans un champ magnétique, à l'endroit où se produit la chute rapide de potentiel, immédiatement au dessus de la région du champ uniforme. Au préalable, on a fait l'expérience sur le tube de verre rempli de mercure jusqu'à la même hauteur.

MAGNÉTISME ATOMIQUE k. 10^6.

(d. m. = diamagnétique, p. m. = paramagnétique, * d'après Kœnigsberger.)

				Li d. m.	Be p. m. +0,72	B p. m. + 0,047	C d. m. — 0,048	Az ?	O p. m.*	F ?						
				Na d. m.*	Mg d. m.*	Al p. m.*	Si p. m + 0,006	P d. m.*	S d. m.* — 0,016	Cl ?						
K d. m.*	Ca d. m.*	Sc d. m.	Ti p. m. +0,09	V p. m. +0,17	Cr	Mn	Fe Fortement p. m.; maximum Fe ; décroît de part et d'autre.	Co	Ni	Cu d. m.	Zn d. m.* —0,0095	Ga d. m.	Ge d. m.	As ?	Se d. m. — 0,001	Br d. m.* —0,0326
Rb d. m.*	Sr d. m.*	Y p. m. +3,2	Zr d. m. —0,014	Nb p. m. +0,49	Mo p. m. + 0,024		Ru p. m.	Rh p. m.	Pd p. m.* +0,55	Ag d. m. —0,0157	Cd d. m. —0,015	In d. m.?	Sn p. m.? +0,004	Sb d. m. — 0,069	Te d. m.* — 0,039	I d m. —0,040
Cs d. m.	Ba d. m.*	La p. m. +13	Ce p. m. +34	Di p. m. +14,5		Sa p. m.										
			Er p. m. +41,8													
		Yb ?		Ta p. m. +1,02	Tu p. m. + 0,1		Os p. m. + 0,074	Ir p. m.	Pt p. m + 0,227	Au d. m.* —0,031	Hg d. m. —0,030	Tl d. m.* — 0,093	Pb d. m.* 0,0248	Bi d. m. — 0,203		
			Th p. m. +16		U p. m. +0,21											

L'intensité du champ magnétique est en nombre rond de 10000 unités C. G. S.

Les corps qu'on peut avoir en fragments sont placés au fond d'une éprouvette étroite et on conduit l'expérience comme précédemment : une première fois avec le corps seul dans l'éprouvette, puis avec le corps dans l'éprouvette pleine d'eau où d'alcool, avec l'éprouvette vide et remplie d'eau ou d'alcool, sans le corps.

Enfin pour certaines substances en trop faible quantité, l'expérience n'a pu être que qualitative.

M. L.

Bains électrolytiques à la glycérine. — M. Quintin Marino vient de décrire dans l'*Elektrochemische Zeitschrift*, t. VI, p. 97, août 1899, un procédé de rajeunissement des bains électrolytiques permettant d'avoir, d'une électrode à l'autre, un courant constant dans le temps. Déjà, sous une différence de potentiel de 2 volts, avec les solutions aqueuses anciennement employées, le courant détruit la plus grande partie de l'eau du bain, et les gaz produits agissent d'une façon pernicieuse sur les ions métalliques ; en particulier le précipité est spongieux, granuleux et mat. Ces inconvénients disparaissent avec le nouveau procédé (brevet allemand n° 104 111) ; l'inventeur préconise pour constituer les bains, l'emploi de glycérine au lieu d'eau. Un bain à la glycérine permet d'ailleurs d'opérer avec un très faible courant et sous une tension peu élevée aussi facilement que sous une très haute tension, et dans ce dernier cas, les opérations sont de beaucoup accélérées.

Le rajeunissement des bains est très facile quand on est en présence de sels solubles dans la glycérine (sels d'Ag, Zn, Cu, Al, Pb, Sb, As).

La solubilité est donnée par le tableau suivant :

Azotate d'argent	très grande solubilité		
Chlorure de zinc	50 parties	p. 100	de glycérine
Sulfate de zinc	35	»	»
Iodure de zinc	40	»	»
Sulfate de cuivre	30	»	»
Acétate de cuivre	10	»	»
Sulfate ferrique	25	»	»
Sulfate ferreux	16	»	»
Tartrate de fer	8	»	»
Chlorure de fer	très grande solubilité		
Iodure ferreux	grande solubilité		
Alun	40 parties	p. 100	de glycérine
Acétate de plomb	20	»	»
Tartrate double d'antimoine et de potassium	5,50 parties	p. 100	de glycérine
Acide arsénieux	grande solubilité.		

Pour obtenir un bain plus concentré, il suffit de chauffer. Si les corps ne sont pas solubles à température ordinaire, on peut faire la dissolution à haute température, la chaleur n'a pas d'action nuisible sur la glycérine.

Exemple I. *Préparation électrolytique du nickel.* — Le bain est composé de sulfate double d'ammoniaque et de nickel dissous dans la glycérine à 80 ou 90°.

Exemple II. *Préparation électrolytique du zinc.* — On dissout le monochlorure de zinc dans la glycérine à 60 à 80°.

Lorsque les sels ne sont pas du tout solubles dans la glycérine, mais le sont dans d'autres corps, tels que l'alcool et la potasse caustique, on emploie ces derniers seuls ou mélangés à la glycérine.

Exemple III. *Préparation électrolytique du cuivre au moyen du tartrate.* — Le tartrate de cuivre est soluble dans un mélange de potasse caustique et de glycérine, et le bain, additionné d'une solution de sulfate de cuivre permet de recouvrir électrolytiquement de cuivre le fer ou le zinc.

On peut augmenter la conductibilité du bain en y ajoutant des sels ammoniacaux ou alcalins ou bien des acides organiques qui n'ont pas d'action sur les métaux précipités.

Les corps qu'on peut ajouter sont les suivants :

Carbonate de sodium	98 parties	p. 100	de glycérine
Borate de sodium	50	»	»
Carbonate d'ammonium	20	»	»
Chlorure d'ammonium	20	»	»
Bicarbonate de sodium	8	»	»
Hydrate de soude	très grande solubilité		
Hydrate de potasse	très grande solubilité		
Chlorure de sodium	20 parties	p. 100	de glycérine
Chlorure de baryum	10	»	»
Acide borique	10	»	»
Sulfure de sodium	assez grande solubilité.		

Une adjonction de 5 à 10 p. 100 d'acide sulfurique ou d'acide azotique concentré empêche le dépôt d'être cassant ou cristallin, avec de faibles courants et de grandes surfaces d'électrodes.

L'emploi de la glycérine est avantageux aussi

quand il s'agit de produire des dépôts d'alliages métalliques.

On maintient en état les bains à la glycérine comme on ferait pour les bains ordinaires : on peut ajouter les sels en solution ou se servir d'électrodes métalliques ; il est possible également de disposer les métaux convenables autour des anodes, ou bien de laisser dans la liqueur un excès de cristaux.

Le champ des expériences est aussi vaste qu'on emploie la glycérine ou les dissolvants ordinaires ; aussi n'est-il pas nécessaire d'entrer dans plus de détails. J. G.

Ordre de grandeur de la pression qui s'exerce sur les radiomètres. — Cette question a été étudiée par W. Donle (*Wied. Ann.*, t. LXVIII, p. 306-315, juin 1899).

Le radiomètre est suspendu à un bifilaire : un petit fléau en aluminium ou en mica, long de 20 mm, large de 1 mm porte à ses extrémités deux ailettes en aluminium ou en mica, de forme ronde ou carrée; ou bien l'une des extrémités seule est munie d'une ailette de mica, tandis que l'autre porte un petit contrepoids de verre. Les deux fils de cocon qui constituent le bifilaire sont fixés au fléau par du mastic à froid, passent dans deux trous pratiqués dans une lame mince de métal pour maintenir leur distance, puis sont noués ensemble dans la position convenable; pendant plusieurs jours on leur suspend un léger poids pour les tendre. Ensuite on suspend à la place de ce poids un miroir formé d'une lamelle de microscope argentée. En modifiant quelque peu la position des fils, on parvient, non sans peine parfois, à obtenir que le bifilaire mis en oscillation revienne toujours à la même position d'équilibre. C'est alors seulement qu'on les fixe avec du mastic sur la lame de métal. Grâce à ces précautions, le zéro est tout à fait stable.

Le bifilaire est ensuite attaché à un bouchon rodé qui s'ajuste sur le col du ballon où se trouve le radiomètre. Les visées se font à travers la paroi sphérique du ballon; en choisissant la région la plus convenable de la paroi, on obtient des images suffisamment nettes de l'échelle.

D'après Kohlrausch, la force qui tend à ramener dans sa position d'équilibre un bifilaire qui s'en est écarté de l'angle L, a pour expression :

$$P \frac{e_1 e_2}{4h} \sin \alpha = P \frac{e_1 e_2}{4h} nA$$

P étant le poids du corps suspendu au bifilaire, e_1 et e_2 la distance horizontale des deux fils à leur extrémité inférieure et à leur extrémité supérieure, h la longueur moyenne des fils, n le nombre des divisions dont l'image s'est déplacée sur la règle à la distance A les divisions étant des doubles millimètres et A exprimé en millimètres.

Soit d'autre part D la pression par unité de surface sur l'ailette du radiomètre, recouverte sur l'une de ses faces de noir de fumée, s la surface de l'ailette en cmq, a la distance du centre de l'ailette au milieu du bifilaire, le moment de la pression cherchée est Dsa et par suite :

$$D = \frac{P}{sa} \frac{e_1 . e_2}{4h} \frac{n}{A}$$

Le récipient était vidé au moyen de la pompe à mercure jusqu'à ce que la pression fût trop faible pour être mesurée avec la jauge de Mac-Leod : à ce moment, elle est d'environ 0,0027 mm de mercure.

Les sources de lumière étudiées étaient d'abord enfermées avec le radiomètre dans une lanterne de Duboscq ; mais l'élévation de température causée par la chaleur des sources provoquait une augmentation de la pression, ce qui a amené l'auteur à supprimer la lanterne. Les sources se trouvaient toujours à une distance de 50 cm de l'ailette recouverte de noir de fumée et un diaphragme percé d'une ouverture circulaire ayant 1,5 cm de diamètre était disposé à 2 cm de la paroi du récipient radiométrique.

Trois sources ont été employées : une bougie de stéarine (1,71 Hefner), un bec de gaz Argand (14,97) et un bec Auer (58,40 H.).

D'accord avec ce qu'ont trouvé les expérimentateurs précédents, la pression sur les ailettes du radiomètre est plus faible quand la pression de l'air est plus élevée.

L'ordre de grandeur de cette pression est le suivant :

Pour une source d'Hefner.	$7 \cdot 10^{-5}$	à	$8 \cdot 10^{-5}$	$\frac{dyn}{cmq}$
— bougie de stéarine.	10 — 14	à	10^{-5}	—
Pour un bec Argand	70 — 80	à	10^{-5}	—
— bec Auer	40 — 50	à	10^{-5}	—

L'auteur n'a pas constaté d'action des rayons Rœntgen sur le radiomètre. M. L.

Le Gérant : C. NAUD.

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Théories, Conducteurs, Électrolytes et Diélectriques.

Note sur l'ensemble complet des équations de l'électrodynamique d'un milieu matériel en mouvement. — *J. Larmor*. 25
Sur l'induction électrostatique ou magnétique et sur le diamagnétisme. — *Wladimir de Nikolaïeve* 10, 53
Relation entre l'électricité et la chaleur, considérations thermodynamiques. — *W. Voigt* 107

CONDUCTEURS. — Conductivité électrique des flammes contenant des vapeurs métalliques. — *H.-A. Wilson* 399
Résistivité des mélanges de graphite et d'argile. — *J.-A. Fleming* 184
Cohéreurs à action magnétique. — *Th. Tommasina* 35
Sur la nature et la cause du phénomène des cohéreurs. — *Thomas Tommasina*. 75
Variation de conductibilité des poudres métalliques. — *Sundorph* 239
Cohéreurs à décohérence automatique; étude de l'action cohérente de divers métaux. — *J. Chunder Bœse*. . . . 314

ÉLECTROLYTES. — Conductivité et dissociation de quelques électrolytes. — *William Foster* 306
Vitesse de migration des ions électriques dans les dissolutions aqueuses étendues, au-dessous de la concentration décinormale, à 18°. — *F.-Kohlrausch* 309
Recherches sur la capacité de polarisation. — *A.-M. Scott*. 310
De l'influence de la température sur la vitesse des ions. — *Adolfo Campetti*.
A propos de la note précédente. — *Silvio Lussana*. 313
Fonctionnement des électrodes à gouttes. — *W. Palmaer*. 390
Sur les électrodes à gouttes. — *G. Meyer*. . 390
Piles thermo-électriques à électrolytes. — *W. Duane*. 475
Les gaz raréfiés possèdent-ils la conductivité électrolytique? — *Bouty* 198

DIÉLECTRIQUES. — Défaut de généralité de la théorie de la polarisation fictive des diélectriques. — *H. Pellat* 465
Au sujet d'une note de M. Pellat sur la polarisation des diélectriques. — *Liénard* 465
Sur la polarisation vraie des diélectriques placés dans un champ électrique. — *H. Pellat* 467
Sur les formules de Mossoti-Clausius et de Betti relatives à la polarisation des diélectriques. — *F. Beaulard* . . . 469
Sur les déformations électriques des diélectriques solides isotropes. — *Sacerdote*. 470
Sur la conductibilité électrique du bois de sapin. — *D. Mazzotto* 276
Sur la cohésion diélectrique des gaz raréfiés. *Bouty*. 200
Variation de la capacité d'un condensateur avec la fréquence des courants alternatifs employés. — *J. Hanauer* . . 27

Décharge électrique.

DÉPERDITION. — Déperdition de l'électricité par divers corps électrisés et chauffés à une température modérée. — *J.-C. Beattie*. 274

Décharge disruptive. — Sur les spectres des décharges oscillantes. — *G.-A. Hemsalech* . . . 318
Étincelle globulaire ambulante. — *Stéphane Leduc* . . . 76
Sur l'étincelle globulaire ambulante. — *J.-M. Gritters-Doublet* . . . 393

Décharges dans les gaz raréfiés. — Influence de la nature de la source électrique sur le spectre d'une décharge dans les tubes à vapeur de cadmium. — *Maurice Hamy* . . . 159
Application des courants alternatifs de haute fréquence à l'étude des décharges électriques dans les gaz raréfiés. — *H. Ebert* . . . 186
Énergie dépensée dans les tubes à décharges excités par un courant alternatif. — *H. Ebert* . . . 191
Mesures électriques et thermiques sur les tubes à décharges. — *E. Wiedemann* et *G.-C. Schmidt* . . . 233
Décharge électrique dans les gaz raréfiés, phénomène nouveau. — *Fœmm* . . . 280
Le phénomène Phillips. — *Sylvanus P. Thompson* . . . 117

Rayons cathodiques. — Sur la structure des rayons cathodiques et la nature des rayons de Lenard. — *E. Goldstein* . . . 226
Durée de certains phénomènes cathodiques. — *E. Wiedemann* . . . 232
Sur les rayons cathodiques. — *A. Wehnelt* . . . 514

Oscillations hertziennes.

Egalité des vitesses de propagation des ondes électromagnétiques dans l'air et le long des fils. — *Gutton* . . . 36
Sur la propagation des ondes électriques. — *C. Gutton* . . . 70
Vibrations simultanées dans l'appareil de Blondlot. — *D. Mazzotto* . . . 279
Période des vibrations dans un appareil de Lecher avec appendices aux fils secondaires. — *D. Mazzotto* . . . 279
La relation de Maxwell entre les constantes diélectriques du bois de sapin. — *D. Mazzotto* . . . 276
Sur la double réfraction électrique du bois. — *D. Mazzotto* . . . 276
Effet d'une fente sur les ondes hertziennes. — *H. Waitz* . . . 351
Etude des oscillations électriques à longue période. — *W. Konig* . . . 435
Effet des ondes électriques sur les contacts métalliques humides. — *Aschkinass* . . . 78
Nouvel indicateur d'ondes électriques. — *Neugschwender* . . . 78

Rayons Rœntgen, rayons Becquerel, etc.

Sur la transformation des rayons X par la matière ; de la manière dont se comportent les corps dans cette transformation. — *R. Malagoli* et *C. Bonacini* . . . 482
Actions électrolytiques observées dans le voisinage d'un tube de Crookes. — *H. Bordier* et *Salvador* . . . 38
De la part qui revient aux actions électrolytiques dans la production de l'érythème radiographique. — *Bordier* et *Salvador* . . . 39
Applications médicales des rayons Rœntgen. — *Ch. Bouchard* et *H. Guilleminot* . . . 40
Applications chirurgicales et médicales des rayons X. — *Abel Buguet* . . . 319
Applications chirurgicales et médicales des rayons X. — *Albarran* et *Contremoulins* . . . 319
Radiographie du cœur et l'aorte aux différentes phases de la révolution cardiaque. — *H. Guilleminot* . . . 319

Magnétisme.

Notions pratiques sur le magnétisme. — *Erich Schmidt* . . . 141
Propriétés magnétiques des corps simples. — *St.-Meyer* . . . 520
Sur le champ magnétique à l'intérieur d'un cylindre creux parcouru par un courant. — *W. de Nikolaieve* . . . 348
Sur la courbe d'aimantation normale. —

W. S. Franklin et *S.-S. Clarke*. 147
Mesure de l'hystérésis pour de faibles valeurs de l'induction. — *H.-S. Webb* . . . 390
Effet d'un refroidissement intense sur les pertes parhystérésis.— *Arthur-H. Ford*. 395
Etude par une méthode interférentielle de l'influence de l'aimantation sur le module d'élasticité et des variations de longueur causées par l'aimantation. — *G.-A. Shakespéar*. . . . 147
De l'effet des basses températures sur certains aciers. — *F. Osmond*. 151
Sur les propriétés magnétiques du fer aux basses températures. — *Georges Claude* 388
Transformation magnétique du fer. — *Le Chatelier* 280
Sur les aciers à aimant. — *Osmond*. 33
Sur les alliages de fer et de nickel. — *F. Osmond*. 149
Sur la position des points de transformation magnétique des aciers au nickel. — *L. Dumas* 152

Sources d'électricité.

Sur la pile étalon au cadmium. — *J.-B.* . . 98
Pile étalon au cadmium.— *John Henderson*. 103
Sur la pile étalon au cadmium.— *W. Jaeger*. 239
Différence de potentiel aux bornes d'une bobine d'induction. — *A. Oberbeck* . 72
Expériences sur l'interrupteur de Wehnelt. — *A.-G. Rossi*. 22
A propos de l'interrupteur Wehnelt. — *Lagrange* 35
Sur une modification de l'interrupteur de Wehnelt. — *H.-Th. Simon*. . . . 398
Piles thermo-électriques à électrolytes. — *W. Duane*. 475

Thermo-électricité.

La pyro-électricité se ramène-t-elle en totalité à la piezo-électricité? — *W. Voigt*. 114
Piles thermo-électriques à électrolytes. — *W. Duane*. 475
Contribution à l'étude thermodynamique des piles thermo-électriques. — *C. Liebenow*. 472

Électro-optique.

Disparition instantanée du phénomène de Kerr. — *H. Abraham* et *J. Lemoine*. 349
Ordre de grandeur de la pression qui s'exerce sur les radiomètres. — *W. Donte*. 523

Électrobiologie.

Méthode de mesure de la vitesse de propagation des oscillations nerveuses provoquées par des excitations unipolaires. — *Aug. Charpentier*. . . . 38
Fréquence des oscillations nerveuses produites par des excitations électriques unipolaires. — *Aug. Charpentier*. 160

APPLICATIONS

Génération, transformation de l'énergie électrique.

Machines motrices. — Dispositifs qui favorisent le réglage de la vitesse dans les installations mues par puissance hydraulique. — *Allan V. Garratt* . 428
Essais de consommation de moteurs à gaz alimentés au gaz Mond. — *T.-O. Paterson* 354
Utilisation directe des gaz des hauts fourneaux. — *E. Meyer* 438
Chaudières à émulseurs Dubiau de la station centrale de Vienne. — *T. Pausert* . 441
Essais comparatifs de chauffage manuel et de chauffage mécanique des chaudières. — *G.-H. Barrus*. 518
Machine à vapeur verticale à grande vitesse, Boulte et Larbodière, à double effet et à graissage sous pression. — *T. Pausert*. 362

Résultats d'essais sur les machines à grande vitesse Belliss. — *Mqrcom* 364

DYNAMOS ET ALTERNATEURS. — Pertes par frottement dans les machines électriques. — *G. Dettmar*. 133
Théorie de la commutation dans les machines à courant continu, d'après Fischer-Hinnen.—*Jacques Guillaume*. 41, 90, 120
Machines dynamo électriques. Machines à courant continu.— *C.-F. Guilbert*. 370 et 490
Dynamos J. Burke 375
Dynamos E. Cantono. 372
Dynamos Jackson et Lewis 490
Dynamo Wood 373
Dynamo cuirassée P. Rosling et H.-W. Appleby 374
Dynamo Cantono à entrefer réglable . . . 495
Dynamos bipolaires et tétrapolaires Sayers Mavor et Coulson 493
Propriétés des machines d'induction. — *M. Leblanc* 171
Sur les diagrammes de couplage de deux alternateurs en parallèle. — *C.-F. Guilbert* 321
Mouvements pendulaires dans les machines couplées en parallèle. — *Jacques Guillaume*. 281
Dispositifs pour l'indication du synchronisme dans la mise en parallèle de deux alternateurs. — *Hermann Müller*. 425
Mise en parallèle d'alternateurs situés dans des stations éloignées. — *R.-W. Van Norden* 520
Essais de rendement de groupes électrogènes avec alternateurs. — *Ferranti-Maclaren*. 182
Répartition du courant et dépense d'énergie dans les induits à cage d'écureuil.— *G. Rœssler* 60
Procédé Soames pour la fixation des tôles des inducteurs 371
Procédé Westinghouse pour la fixation des tôles d'induit 372
Procédés Siemens Brothers pour la fixation des tôles d'induit 492
Balais J.-C. Leissing et C.-L. Hiebl. 497
Porte-balais Siemens 458
Dispositif d'attachement des balais en charbon de la Compagnie Thomson-Houston (M. Rohrer). 493
Régulateur automatique Tirrill de la différence de potentiel aux bornes d'une dynamo. 506
Procédé de P.-R. Jackson et J.-S. Lewis pour l'accouplement d'une dynamo et d'un moteur. 375

TRANSFORMATEURS. — Transformateurs redresseurs. — *Maurice Leblanc*. . . . . 205 253, 292, 404, 447 et 498
Moyen de remédier à l'accroissement des pertes d'énergie dans les transformateurs à courants alternatifs. — *G. Wilbur Hubley* 119
Transformateurs de courant continu à très grande vitesse. — *Ernest Kilburn Scott*. 33
Sur la théorie de l'egualizzatore ou diviseur de tension. — *S.-A. Montel*. . . . 298
PILES ET ACCUMULATEURS. — Génération directe de l'énergie électrique au moyen du charbon ; oxydation du charbon à la température ordinaire par l'air atmosphérique. — *Willard-E. Case* 344
Génération directe de l'énergie au moyen du charbon. — *Charles-J. Reed* et *Willard.-E. Case* 347
Accumulateurs pour automobiles électriques. *J. Reyval*. 94, 124, 336
Accumulateurs Bouquet, Garcin et Schivre pour automobiles 94
Accumulateurs Blot-Fulmen pour automobiles 96
Accumulateurs H.-G. Osburn pour automobiles 97
Accumulateurs Phœbus pour automobiles. 124
Accumulateurs Ramon da Souza pour automobiles. 336

Distribution de l'énergie électrique.

DISTRIBUTION. — Étude sur la transmission et la distribution de l'énergie par les courants alternatifs. — *Maurice Leblanc* 171, 205, 253, 292, 404, 447 et 498
Comparaison des systèmes de distribution par courants diphasés et courants triphasés. — *A. Blondel* 158
Mesures de sécurité à prescrire pour les

grandes installations. — *F. Ross*. . 122
Les installations électriques de la gare d'Anvers-Est. — *L'Hoest*. 261
APPAREILLAGE. — Interrupteur Barton avec fil fusible 133
Interrupteur Thomson-Houston pour réseaux de distribution à trois fils 218
Rhéostats Clémançon à action continue . . 342
Fusibles Munslow et Sowry. 338
Boîte de jonction de sécurité pour canalisations à haute tension système Wordingham 102
Nouvelle matière isolante pour la confection des câbles. — *G.-E. Heyl-Dia*. . . 317

Applications mécaniques.

MOTEURS ÉLECTRIQUES. — Excitation des moteurs asynchrones. — *M. Leblanc* . 177
Moteurs Johnson et Lundell. 370
Combinateur W.-R. Edwards et S.-F. Beevor pour moteurs alimentés par des accumulateurs 380
Commutateur J.-H. Hindle et T. Mannock pour le démarrage et la régulation des moteurs d'ascenseurs électriques. 59
Commutateur G.-A. Mower pour la mise en marche et le réglage de la vitesse des moteurs d'ascenseurs électriques 58

APPAREILS ET MACHINES DIVERS. — Applications mécaniques de l'électricité. — *G. Richard*. 81, 241
Ascenseurs électriques de la Compagnie Sprague avec vis à billes Lieb . . . 241
Ascenseur électrique Heermanns et Whichello. 246
Les ascenseurs hydro-électriques de la gare d'Anvers-Est. — *Mélotte* 264
Pont roulant de la compagnie Shaw 251
Balance automatique de Richards 81
Balance B. Johnson 83
Balance Overbeck 83
Casse fils pour métiers à tisser Baker et Kipp 86
Ventilateur électrique Collins. 89
Ventilateur Parker et Meston 89
Horloge électromagnétique W. Hastings. . 88
Arrêt à distance Monarch (Brady) 85

Traction électrique.

Étude de la consommation de puissance dans la traction électrique. — *Maurice Bricard* 5
Sur un système de traction électrique à courants alternatifs et continu combinés et en particulier le système Deri. — *F. Eichberg* 413
Lorry de secours en cas de déraillement des voitures de tramways mécaniques . 383
Les applications du joint Falk en France. . 237
Attache Bostock et Cheetham pour fils de garde des lignes de tramways à trôlet aérien 132
Chemin de fer électrique à grande-vitesse entre Düsseldorf et Krefeld (Allemagne) 396
Dispositif électromagnétique Siemens et Halske de régulation de la pression des roues de friction des locomotives de chemin de fer à rail central. 132
L'Exposition internationale d'automobiles aux Tuileries. — *G. Pellissier* . . . 14
Automobile électrique du régiment des sapeurs-pompiers de Paris. — *J. Reyval* 456
Combinateur Jeantaud et Rechniewsky pour automobiles électriques. 338
Le prix de revient de la journée d'un fiacre à Paris 157
Sur le calcul de l'effort maximum disponible à la barre d'attelage d'un tracteur. — *A. Petot* 17
Sur l'équation du mouvement des automobiles. — *A. Petot* 103
Expériences de halage électrique sur les canaux par le système Lamb et le système Koettgen. — *G. Klingenberg*. 384
Sur l'emploi des accumulateurs pour la propulsion des navires. — *C.-T. Child*. 354

Télégraphie et Téléphonie

Télégraphie rapide Pollak et Virag. 297
Variation de l'isolement des câbles à air sec avec la température.—*Deflacellière*. 267
Câbles sous-marins Willoughby S. Smith . . 380
Le service téléphonique interurbain en Italie. 519
Communication télégraphique entre le phare de Fastnett et l'Irlande.—*F. G. de Nerville* 265
Sur les applications possibles de la télégraphie dite sans fils. — *A. Turpain*. . 357
Téléphonie duplex sur les lignes interurbaines allemandes. — *Schwensky* . . . 219

Éclairage électrique.

Notes sur les avantages de l'emploi des lampes portatives et des groupes électrogènes pour l'éclairage électrique des usines. — *J.-B. Pomey*. . 178
Sur l'existence de charges dans les vapeurs de l'arc électrique. — *C. Chéneveau* 401
Appareil du Laboratoire central d'électricité pour l'étude de la répartition lumineuse des lampes à arc. — *E. Laporte* 302
Nouvelle lampe électrique à incandescence dite lampe aux nitrates 181
Dispositif Clémançon pour la production des effets de lumière au théâtre 342
Dispositif E.-J. Preston pour l'éclairage des trains par une dynamo actionnée par un essieu. 459
Nouveau système d'éclairage des voitures de chemins de fer au moyen d'une dynamo actionnée par l'un des essieux. — *Auvert*. 460

Électrochimie et Électrométallurgie.

La stérilisation de l'eau par l'ozone. — *J. Blondin*. 127
La stérilisation de l'eau par l'ozone. — *E. Andréoli* 352
Préparation du fluor par électrolyse dans un appareil en cuivre. — *Moissan*. . . 77
Electrolyseurs Kellner pour le blanchiment. 80
Electrolyseurs Corbin pour le blanchiment de la pâte de bois. — *A. Navarre* . 197
Prix de revient de la tonne de carbure de calcium avec les différentes sources d'énergie. — *F. Liebetanz*. 508
Fabrication du noir de fumée au moyen de l'acétylène. 360
Sur l'aptitude explosive de l'acétylène mélangé à des gaz inertes. — *Berthelot* et *Vieille* 511
Sur la vitesse de détonation de l'acétylène. *Berthelot* et *Le Chatelier* 433
Fabrication industrielle du ferro-silicium au four électrique. — *G. de Chalmot*. . 358
Sur la production par électrolyse du tungstène cristallisé.— *L.-A. Hallopeau*. 398
Etat actuel de l'industrie du zinc électrolytique en Allemagne. 480
Dilatation des alliages cuivre-aluminium. — *H. Le Chatelier* 37
Cuivrage galvanique de la fonte. — *E.-L. Dessolle*. 356
Bacs Rovello pour le traitement électrolytique des solutions cuprifères ou aurifères. — *A. Rovello*. 79
Influence de la température de l'électrolyte sur la qualité du cuivre électrolytique et celle des boues anodiques. — *F. Færster*. 20
Bains électrolytiques à la glycérine. — *Quintin Marino* 522
Essais de cuirs tannés électriquement. . . . 440

MESURES

Doit-on donner des noms aux unités C. G. S. électriques et magnétiques ?. . . . 30
Simplification possible et rationnelle des unités électriques. — *A. Blondel*. . . 195
Les unités électriques et magnétiques peuvent-elles s'exprimer en fonction des unités fondamentales de masse, de longueur et de temps ? — *Schreber* . . 240

Détermination directe d'un kilom. absolu. — *A. Guillet*. . . 161, 212, 288, 328, 376
Théorie de l'amortissement dans les galvanomètres. — *H. Lemke* 155
Nouvelle méthode galvanométrique. — *Féry*. 21
Mesure de l'isolement d'une batterie d'accumulateurs. — *C. Liebenow* 272
Compteur d'électricité Blondlot. — *J. Reyval*. 201
Contrôle de la fréquence d'un courant alternatif. — *Zenneck*. 395

DIVERS

Sociétés savantes et techniques, Congrès, Nécrologie.

Société internationale des électriciens (séance du 5 juillet 1899). Sur la propagation des ondes électriques. — *C. Gutton* 70
Congrès électrotechnique de Vienne. — *P. Dièny*. 121, 413
Albert Hess. — *Georges Claude* 394

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

A

ABRAHAM. — (Voir *Marmier*.) 127
ABRAHAM (H.) et LEMOINE (J.). — Disparition instantanée du phénomène de Kerr. 349
ALBARRAN et CONTREMOULIN. — Applications chirurgicales et médicales des rayons X. 319
ANDRÉOLI. — La stérilisation de l'eau par l'ozone . . . . 131 et 352
APPLEBY (H.-W.). — (Voir *Rosling P.*). . . 374
ASCHKINASS. — Effet des ondes électriques sur les contacts métalliques humides. . 78
AUVERT. — Nouveau système d'éclairage des voitures de chemins de fer au moyen d'une dynamo actionnée par l'un des essieux 460

B

BAKER et KIPP. — Casse-fils pour métiers à tisser 86
BARRUS (Georges H.). — Essais comparatifs de chauffage manuel et de chauffage mécanique des chaudières. 518
BARTON. — Interrupteur avec fil fusible. . . 133
BEATTIE (J.-C.). — Déperdition de l'électricité par divers corps électrisés et chauffés à une température modérée. 274
BEAULARD (F.). — Sur les formules de Mossoti Clausius et de Betti relatives à la polarisation des diélectriques. . 469
BEEVOR (S.-F.). — (Voir *Edwards W.-R.*). . 380
B. (J.). — Sur la pile-étalon au cadmium. . 98
BELLISS. — Machine à vapeur verticale à grande vitesse 362
BERTHELOT et VIEILLE. — Sur l'aptitude explosive de l'acétylène mélangé à des gaz inertes. 511
BERTHELOT et LE CHATELIER. — Sur la vitesse de détonation de l'acétylène. . . . 433
BLONDEL (A.). — Comparaison des systèmes de distribution par courants diphasés et courants triphasés. 158
Simplification possible et rationnelle des unités électriques. 195
BLONDIN (J.). — La stérilisation de l'eau par l'ozone 127
BLONDLOT. — Compteur d'électricité. . . . 201
BLOT-FULMEN. — Accumulateurs pour automobiles. 96
BONACINI (C.). — (Voir *Malagoli R.*). . . . 481
BORDIER (H.) et SALVADOR. — Actions électrolytiques observées dans le voisinage d'un tube de Crookes. 38
De la part qui revient aux actions électrolytiques dans la production de l'érythème radiographique. 39
BOSE (J. Chunder). — Cohéreurs à décohérence automatique; étude de l'action cohérente de divers métaux. . 314
BOSTOCK et CHEETHAM. — Attache pour fils de garde des lignes de tramways à trôlet aérien 132
BOUCHARD (Ch.) et GUILLEMINOT (H.). — Applications médicales des rayons Rœntgen 40
BOULTE et LARBODIÈRE. — Machine à vapeur verticale à grande vitesse, à double effet et à graissage sous pression. . 362
BOUQUET, GARCIN et SCHIVRE. — Accumulateurs pour automobiles. 94
BOUTY. — Les gaz raréfiés possèdent-ils la conductivité électrolytique? . . . 198
Sur la cohésion diélectrique des gaz raréfiés 200
BRICARD (Maurice). — Étude de la consommation de puissance dans la traction électrique 5
BUGUET (Abel). — Applications chirurgicales et médicales des rayons X. 319
BURKE (J.). — Dynamos 375

C

CAMPETTI (Adolfo). — De l'influence de la température sur la vitesse des ions. 313

CANTONO (E.). — Dynamo 372
Dynamo à entrefer réglable 495
CASE (Willard-E.). — Génération directe de l'énergie électrique au moyen du charbon ; oxydation du charbon à la température ordinaire par l'air atmosphérique 344, 347
CHALMOT (G. de). — Fabrication industrielle du ferrosilicium au four électrique . 358
CHARPENTIER (Aug.). — Méthode de mesure de la vitesse de propagation des oscillations nerveuses provoquées par des excitations unipolaires 38
Fréquence des oscillations nerveuses produites par des excitations électriques unipolaires 160
CHEETHAM. — (Voir *Bostock.*) 132
CHÉNEVEAU (C.). — Sur l'existence de charges dans les vapeurs de l'arc électrique. 401
CHILD (C.-T.). — Sur l'emploi des accumulateurs pour la propulsion des navires. 354
CLARKE (S.-S.). — (Voir *Franklin W.-S.*) . . 147
CLAUDE (Georges). — Sur les propriétés magnétiques du fer aux basses températures 388
Albert Hess 394
CLÉMANÇON. — Dispositif pour la production des effets de lumière au théâtre . . 342
Rhéostats à action continue 342
COLLINS. — Ventilateur électrique 89
COMPAGNIE THOMSON-HOUSTON. — Interrupteur pour réseaux de distribution à trois fils 218
Dispositif d'attachement des balais en charbon 493
COMPAGNIE WESTINGHOUSE. — Procédé pour la fixation des tôles d'induit 372
CONTREMOULIN. — (Voir *Albarran.*) 319
COULSON. — (Voir *Sayers.*) 493

D

DEFLACELLIÈRE. — Variation de l'isolement des câbles à air sec avec la température 267
DESSOLLE (E.-L.). — Cuivrage galvanique de la fonte 356
DETTMAR (G.). — Pertes par frottement dans les machines électriques 133
DIÉNY (P.). — Congrès électrotechnique de Vienne . . . . 121 et 413
DONLE (W.). — Ordre de grandeur de la pression qui s'exerce sur les radiomètres 523
DUMAS (L.). — Sur la position des points de transformation magnétique des aciers au nickel 152
DUANE (W.). — Piles thermoélectriques à électrolytes 475

E

EBERT (H.). — Application des courants alternatifs de haute fréquence à l'étude des décharges électriques dans les gaz raréfiés 186
Energie dépensée dans les tubes à décharges excités par un courant alternatif 191
EDWARDS (W.-R.) et BEEVOR (S.-F.). — Combinateur pour moteurs alimentés par des accumulateurs 380
EICHBERG (F.). — Sur un système de traction à courants alternatif et continu combinés et en particulier le système Déri 413

F

FÉRY. — Nouvelle méthode galvanométrique 21
FISCHER-HINNEN (J.). — Théorie de la commutation dans les machines à courant continu . . . . . . 41, 90 et 120
FLEMING (J.-A.). — Résistivité des mélanges de graphite et d'argile 184
FŒMM. — Décharge électrique dans les gaz raréfiés, phénomène nouveau . . . 280
FŒRSTER (F.). — Influence de la température de l'électrolyte sur la qualité du cuivre électrolytique et celle des boues anodiques 20
FORD (Arthur-H.). — Effet d'un refroidissement intense sur les pertes par hystérésis 395
FOSTER (William). — Conductivité et dissociation de quelques électrolytes . . 306
FRANKLIN (W.-S.) et CLARKE (S.-S.). — Sur la courbe d'aimantation normale . . . 147

G

GARCIN. — (Voir *Bouquet.*) 94
GARRATT (Allan-V.). — Dispositifs qui favorisent le réglage de la vitesse dans

les installations mues par puissance hydraulique 428

GOLDSTEIN (E.). — Sur la structure des rayons cathodiques et la nature des rayons de Lenard 226

GRITTERS-DOUBLET (J.-M.). — Sur l'étincelle globulaire 393

GUILBERT (C.-F.). — Sur les diagrammes de couplage de deux alternateurs en parallèle 321

Machines dynamo-électriques; dynamos à courant continu . . . 370 et 490

GUILLAUME (Jacques). — Théorie de la commutation dans les machines à courant continu, d'après Fischer Hinnen . . . . 41, 90 et 120

Mouvements pendulaires dans les machines couplées en parallèle 281

GUILLEMINOT (H.). — (Voir *Bouchard*.) . . . 40

Radiographie du cœur et de l'aorte aux différentes phases de la révolution cardiaque 319

GUILLET (A.). — Détermination directe d'un kilohm absolu . . 161, 212, 288, 328, 376

GUTTON. — Égalité des vitesses de propagation des ondes électromagnétiques dans l'air et le long des fils 36

Sur la propagation des ondes électriques 70

H

HALSKE. — (Voir *Siemens*.) 132

HAMY (Maurice). — Influence de la nature de la source électrique sur le spectre d'une décharge dans les tubes à vapeur de cadmium 159

HANAUER (J.). — Variation de la capacité d'un condensateur avec la fréquence des courants alternatifs employés . . . 27

HALLOPEAU (L.-A.). — Sur la production par électrolyse du tungstène cristallisé. 398

HASTINGS (W.). — Horloge électromagnétique 88

HEERMANNS et WHICHELLO. — Ascenseurs électriques 246

HEMSALECH (G.-A.). — Sur les spectres des décharges oscillantes 318

HENDERSON (John). — Pile étalon au cadmium 103

HEYL-DIA (G.-E.). — Nouvelle matière isolante pour la confection des câbles. 317

HIEBL (C.-L.). — (Voir *Leissing*) 497

HINDLE (J.-H.) et MANNOCK (T.). — Commutateur pour le démarrage et la régulation des moteurs d'ascenseurs électriques 59

HUBLEY (G. Wilbur). — Moyen de remédier à l'accroissement des pertes d'énergie dans les transformateurs à courants alternatifs 119

J

JACKSON (P.-R.) et LEWIS (J.-S.). — Dynamo et moteur accouplés 375

Dynamos 490

JAEGER (W.). — Sur la pile étalon au cadmium 239

JEANTAUD et RECHNIEWSKY. — Combinateur pour automobiles électriques . . . 338

JOHNSON (B.). — Balance 83

JOHNSON et LUNDELL. — Moteurs à courant continu 370

K

KAINDLER (A.). — Accumulateurs Phœbus pour automobiles électriques . . . 124

KAPP (G.). — Mouvements pendulaires dans les machines couplées en parallèle. 281

KELLNER. — Électrolyseurs pour le blanchiment 80

KIPP. — (Voir *Baker*.) 86

KLINGENBERG (G.). — Expériences de halage électrique sur les canaux par le système Lamb et le système Koettgen. 384

KOHLRAUSCH (F.). — Vitesse de migration des ions électriques dans les dissolutions aqueuses étendues au-dessous de la concentration décinormale, à 18° . 309

KONIG (W.). — Étude des oscillations électriques à longue période 435

L

LAGRANGE. — A propos de l'interrupteur de Wehnelt 35

LAPORTE (E.). — Appareil du laboratoire cen-

tral d'électricité pour l'étude de la répartition lumineuse des lampes à arc 302
LARBODIÈRE. — (Voir *Boulte*). 362
LARMOR (J.). — Note sur l'ensemble complet des équations de l'électrodynamique d'un milieu matériel en mouvement 25
LEBLANC (Maurice). — Étude sur la transmission et la distribution de l'énergie par les courants alternatifs et de la commutation dans les transformateurs redresseurs à courants polyphasés 171, 205, 253, 292, 404, 447 et 498
LE CHATELIER (H.). — Dilatation des alliages cuivre aluminium 37
Transformation magnétique du fer. . 280
(Voir *Berthelot*) 433
LEDUC (Stéphane). — Étincelle globulaire ambulante. 76
LEISSING (J.-C.) et HIEBL (C.-L.). — Balai métallique. 497
LEMKE (H.). — Théorie de l'amortissement dans les galvanomètres 155
L'HOEST. — Les installations électriques de la gare d'Anvers-Est 261
LEMOINE (J.). — (Voir *Abraham H.*) 349
LEWIS (J.-S.). — (Voir *Jackson P.-R.*) . 375, 490
LIEBENOW (C.). — Mesure de l'isolement d'une batterie d'accumulateurs. . . 272
Contribution à l'étude thermodynamique des piles thermo-électriques. 472
LIEBETANZ (F.). — Prix de revient de la tonne de carbure de calcium avec les différentes sources d'énergie. 508
LIENARD. — Au sujet d'une note de M. Pellat sur la polarisation des diélectriques. 465
LUNDELL. — (Voir *Johnson.*) 370
LUSSANA (Silvio). — De l'influence de la température sur la vitesse des ions. . . 313

M

MALAGOLI (R.) et BONACINI (C.). — Sur la transformation des rayons X par la matière ; de la manière dont se comportent les corps dans cette transformation 481
MANNOCK (T.) — (Voir *Hindle J.-H.*). . . . 59
MARMIER et ABRAHAM. — La stérilisation de l'eau par l'ozone 127
MAVOR. — (Voir *Sayers*) 493
MAZZOTTO (D.). — Vibrations simultanées dans l'appareil de Blondlot. 279
Période des vibrations dans un appareil de Lecher avec appendices aux fils secondaires. 279
Sur la double réfraction électrique du bois. La relation de Maxwell entre les constantes diélectriques du bois de sapin. Sur la conductibilité électrique du bois de sapin. 276
MÉLOTTE. — Les ascenseurs hydro-électriques de la gare d'Anvers-Est 264
MESTON. — (Voir *Parker.*). 89
MEYER (G.). — Sur les électrodes à gouttes . 390
MEYER (E.). — Utilisation directe des gaz des hauts fourneaux 438
MOISSAN. — Préparation de fluor par électrolyse dans un appareil en cuivre . . 77
MONARCH (Brady). — Arrêt à distance. . . . 85
MONTEL (S.-A.). — Sur la théorie de l'égualizzatore ou diviseur de tension. . . 298
MORCOM. — Résultats d'essais sur les machines à grande vitesse Belliss 364
MOWER (G.-A.). — Commutateur pour la mise en marche et le réglage de la vitesse des moteurs d'ascenceurs électriques 58
MULLER (Hermann). — Dispositifs pour l'indication du synchronisme dans la mise en parallèle de deux alternateurs 425
MUNSLOW et SOWRY. — Fusibles 338

N

NAVARRE (A.). — Electrolyseurs Corbin pour le blanchiment de la pâte de bois . 197
NERVILLE (F.-G. de). — Communication télégraphique eutre le phare de Fastnett et l'Irlande 265
NEUGSCHWENDER. — Nouvel indicateur d'ondes électriques. 78
NIKOLAÏEVE (Wladimir de). — Sur l'induction électrostatique ou magnétique et sur le diamagnétisme . . . . . . 10 et 53
Sur le champ magnétique à l'intérieur d'un cylindre creux parcouru par un courant 348
NORDEN (R.-W. Van). — Mise en parallèle

d'alternateurs situés dans des stations éloignées 520

O

OBERBECK (A.). — Différence de potentiel aux bornes d'une bobine d'induction . . 72
OSBURN (H.-G). — Accumulateurs pour automobiles 97
OSMOND. — Sur les aciers à aimant 33
Sur les alliages de fer et de nickel. . 149
De l'effet des basses températures sur certains aciers 151
OVERBECK. — Balance 83

P

PALMAER (W.). — Fonctionnement des électrodes à gouttes 390
PARKER et MESTON. — Ventilateur 89
PATERSON (T.-O.). — Essais de consommation de moteurs à gaz alimentés au gaz Mond 354
PAUSERT (T.). — Machine à vapeur verticale à grande vitesse Boulte et Larbodière à double effet et à graissage sous pression 362
Chaudières à émulseurs Dubiau de la station centrale de Vienne 441
PELLAT (H.). — Défaut de généralité de la théorie de la polarisation fictive des diélectriques 465
Sur la polarisation vraie des diélectriques placés dans un champ électrique 467
PELLISSIER (G.). — L'exposition internationale d'automobiles aux Tuileries 14
PETOT (A.). — Sur le calcul de l'effort maximum disponible à la barre d'attelage d'un tracteur 17
Sur l'équation du mouvement des automobiles 103
POLLAK et VIRAG. — Télégraphie rapide. . . 297
POMEY (J.-B.). — Notes sur les avantages de l'emploi des lampes portatives et des groupes électrogènes pour l'éclairage électrique des usines 178
PRESTON (E.-J.). — Dispositif pour l'éclairage des trains par une dynamo actionnée par un essieu 459

Q

QUINTIN MARINO. — Bains électrolytiques à la glycérine 522

R

RECHNIEWSKY. — (Voir *Jeantaud*.) 338
REED (Charles J.). — Génération directe de l'énergie au moyen du charbon . . 347
REYVAL (J.). — Accumulateurs pour automobiles électriques 94
Accumulateurs pour automobiles électriques 124
Compteur d'électricité Blondlot . . . 201
Accumulateurs Ramon da Souza pour automobiles électriques 336
Automobile électrique du régiment des sapeurs-pompiers de Paris . . . 456
RICHARD (G.). — Applications mécaniques de l'électricité . . . . 81 et 241
RICHARDS. — Balance automatique 81
ROESSLER (G.). — Répartition du courant et dépense d'énergie dans les induits à cage d'écureuil 60
ROHRER (A.). — Dispositif d'attachement des balais en charbon 493
ROSLING (P.) et APPLEBY (H. W.). — Dynamo cuirassée 374
ROSS (F.). — Mesures de sécurité à prescrire pour les grandes installations. . . 122
ROSSI (A.-G.). — Expériences sur l'interrupteur de Wehnelt 22
ROVELLO (A.). — Bacs pour le traitement électrolytique des solutions cuprifères ou aurifères 79

S

SACERDOTE. — Sur les déformations électriques des diélectriques solides isotropes . 470
SALVADOR. — (Voir *Bordier E.*) 38, 39
SAYERS, MAVOR et COULSON. — Dynamos bipolaires et tétrapolaires 493
SCHIVRE. — (Voir *Bouquet*) 94
SCHMIDT (Erich). — Notions pratiques sur le magnétisme 141
SCHMIDT (G.-C.). — (Voir *Wiedemann E.*). . 233
SCHREBER. — Les unités électriques et magnétiques peuvent-elles s'exprimer en fonction des unités fondamentales de masse, de longueur et de temps. 240

SCHWENSKY. — Téléphonie duplex sur les lignes interurbaines allemandes . . 219
SCOTT (Ernest-Kilburn). — Transformateurs de courant continu à très grande vitesse 33
SCOTT (A.-M.). — Recherches sur la capacité de polarisation 310
SHAKESPEAR (G.-A.). — Etude par une méthode interférentielle de l'influence de l'aimantation sur le module d'élasticité et des variations de longueur causées par l'aimantation . . 147
SHAW. — Pont roulant 251
SIEMENS. — Porte-balais 458
SIEMENS BROTHERS. — Procédés pour la fixation des tôles d'induit. 492
SIEMENS et HALSKE. — Dispositif électromagnétique de régulation de la pression des roues de friction des locomotives de chemin de fer à rail central 132
SIMON (H.-Th.). — Sur une modification de l'interrupteur de Wehnelt. 398
SMITH (Willoughby-S.). — Câbles sous-marins. 380
SOAMES. — Procédé pour la fixation des tôles des inducteurs. 371
SOCIÉTÉ DES VOITURES ÉLECTRIQUES ET ACCUMULATEURS B. G. S. — Automobile électrique du régiment des sapeurs-pompiers de Paris 456
SOUZA (Ramon da). — Accumulateurs pour automobiles électriques. 336
SOWRY. — (Voir *Munslow*.) 338
SPRAGUE. — Ascenseurs électriques. 241
SAINT-MEYER. — Propriétés magnétiques des corps simples 520
SUNDORPH. — Variation de conductibilité des poudres métalliques 239

T

THOMPSON (Sylvanus). — Le phénomène Phillips. 117
TIRRILL. — Régulateur automatique de la différence de potentiel aux bornes d'une dynamo 506
TOMMASINA (Th.). — Cohéreurs à action magnétique. 35
Sur la nature et la cause du phénomène des cohéreurs. 75
TURPAIN (A.). — Sur les applications possibles de la télégraphie dite sans fils . . . 357

V

VIEILLE. — (Voir *Berthelot*.). 511
VIRAG. — (Voir *Pollak*). 297
VOIGT (W.). — Relation entre l'électricité et la chaleur, considérations thermodynamiques 107
La pyro-électricité se ramène-t-elle en totalité à la piézo-électricité. . . . 114

W

WAITZ (H.). — Effet d'une fente sur les ondes hertziennes 351
WEBB (H.-S.). — Mesure de l'hystérésis pour de faibles valeurs de l'induction . . 390
WEHNELT (A.). — Sur les rayons cathodiques. 514
WHICHELLO. — (Voir *Heermanns*.). 246
WIEDEMANN (E.). — Durée de certains phénomènes cathodiques 232
WIEDEMANN (E.) et SCHMIDT (G.-C.). — Mesures électriques et thermiques sur les tubes à décharges. 233
WILSON (H.-A.). — Conductivité électrique des flammes contenant des vapeurs métalliques 399
WOOD. — Dynamos. 373
WORDINGHAM. — Boîte de jonction de sécurité pour canalisations à haute tension. 102

Z

ZENNECK. — Contrôle de la fréquence d'un courant alternatif. 395

Tome XX | Samedi 15 Juillet 1899. | 6e Année. — N° 28.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Pages.

Théorie de la commutation dans les machines à courant continu, d'après Fischer-Hinnen; Jacques Guillaume 41
Sur l'induction électrostatique ou magnétique et sur le diamagnétisme; Wladimir de Nikolaiève . 53

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Commutateur G.-A. Mower pour la mise en marche et le réglage de la vitesse des moteurs d'ascenseurs électriques. 58
Commutateur J.-H. Hindle et T. Mannock pour le démarrage et la régulation des moteurs d'ascenseurs électriques. 59
Répartition du courant et dépense d'énergie dans les induits à cage d'écureuil, par G. Rœssler 60

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Société internationale des Électriciens (séance du 5 juillet) :
Sur la propagation des ondes électriques, par C. Gutton 70
Différence de potentiel aux bornes d'une bobine d'induction; A. Oberbeck 72

CHRONIQUE

Sur la nature et la cause du phénomène des cohéreurs. — Étincelle globulaire ambulante. — Préparation du fluor par électrolyse dans un appareil en cuivre. — Effet des ondes électriques sur les contacts métalliques humides. — Nouvel indicateur d'ondes électriques. — Bacs Rovello pour le traitement électrolytique des solutions cuprifères ou aurifères. — Electrolyseurs Kelliner pour le blanchiment 75

SUPPLÉMENT

Nouvelles. — Congrès international de Physique en 1900. — Exposition de Côme. — La municipalisation des services de distribution de l'énergie électrique dans les villes allemandes. — Une usine hydro-électrique de 40000 chevaux à Calès (Dordogne). — L'emploi de l'électricité dans les élévateurs de grains. — L'électricité sur le yacht « Victoria and Albert ». — Les tramways de Florence. — La traction électrique en Allemagne. — Les usines à carbure de calcium. — L'industrie du carbure de calcium. — Traction électrique. — Éclairage électrique. — La Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — Compagnie nationale d'électricité. — Société générale électrique et industrielle. — Société de transmission de la force par l'électricité. — Adjudications et avis. xiv
Brevets d'invention xxiv

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg-Poissonnière.

NOUVELLES

Congrès international de physique en 1900. — La Société française de Physique a pris l'initiative de provoquer, à l'occasion de l'Exposition universelle de 1900, une réunion en congrès international de toutes les personnes qui s'intéressent aux progrès de la physique. Il n'est pas besoin de faire ressortir les avantages considérables que l'on est en droit d'attendre, au profit de la science, d'une telle réunion. Jusqu'à présent des congrès spéciaux, tels que les congrès d'électricité, ont conduit à des résultats que tous les physiciens connaissent et apprécient, mais jamais encore n'a eu lieu un congrès international consacré à la Physique générale; il est permis d'espérer que cette première réunion présentera un grand intérêt.

Un comité d'organisation a été constitué qui a décidé que le Congrès international de physique s'ouvrirait le *lundi 6 août 1900* et durerait une semaine. Le bureau de ce comité comprend : M. Cornu, membre de l'Institut, président; M. Cailletet, membre de l'Institut, vice-président; MM. Guillaume, attaché au bureau international des poids et mesures, et Lucien Poincaré, chargé de cours à la Sorbonne, secrétaires.

Le prix de la carte du Congrès sera de 20 francs; elle donnera droit à la participation à tous les travaux, assemblées et visites et à la reception du compte rendu des travaux du Congrès.

Le comité n'a pas cru devoir fixer d'une manière définitive, dès à présent, le programme des travaux du Congrès; il soumet aux physiciens le programme suivant :

1° Rapports et discussions sur des sujets en nombre limité et arrêtés à l'avance, tels que : *a*) définition et fixation de certaines unités (pression, échelle de dureté, quantité de chaleur, grandeurs photométriques, constantes de la saccharimétrie, échelle du spectre, unités électriques non encore définies, etc. ; *b*) bibliographie de la physique; *c*) laboratoires nationaux;

2° Visites à l'Exposition, à des laboratoires, à des ateliers;

3° Conférences sur quelques sujets nouveaux.

La commission d'organisation recevra avec reconnaissance toutes les observations et propositions qu'on voudra bien lui adresser; elle fixera ensuite le programme définitif.

Les personnes désirant assister au Congrès sont invitées à en informer, dès maintenant, la commission d'organisation; ceci ne les engagera d'ailleurs en rien.

Toutes les communications devront être adressées : à M. Ch. Ed. Guillaume, secrétaire pour l'Etranger, au *Pavillon de Breteuil, Sèvres (Seine-et-Oise)* ou à M. Lucien Poincaré, secrétaire pour la France, *105 bis, boulevard Raspail, Paris.*

Exposition de Côme. — Cette exposition, organisée, comme nos lecteurs le savent, pour célébrer le centenaire de la découverte de la pile électrique par Volta, vient d'être détruite en partie par un incendie. Nous lisons en effet dans le *Journal* du 9 juillet :

Les bâtiments de l'Exposition d'électricité de Côme ont été détruits, ce matin, en moins d'une demi-heure, par un épouvantable incendie.

La population, profondément émue, est accourue sur le lieu du désastre. On espère sauver les chantiers de la Société de navigation du lac situés près des expositions. La cause de l'incendie est accidentelle. Il n'y a aucune victime.

Parmi les souvenirs de Volta qui ont été sauvés, se trouvent l'épée sénatoriale, don de Napoléon Ier, des décorations et quelques autres souvenirs personnels de Volta.

Voici quelques renseignements sur les bâtiments incendiés :

L'Exposition comprenait d'une part, tout ce qui se rattache à la découverte de l'électricité, à ses progrès, à ses applications jusqu'aux plus récentes, et d'autre part, tout ce qui a trait à l'industrie de la soie, depuie l'élévage des vers à soie jusqu'à la fabrication des tissus qui est si importante à Côme.

Le palais de l'Exposition avait été construit sur un champ de manœuvres militaires, une sorte de petit « Champ de Mars ». Sa façade donnait sur un très beau jardin public qui n'a demandé qne d'insignifiantes modifications pour devenir le jardin de l'Exposition. Ce jardin est planté d'arbres magnifiques; il était peuplé de constructions de toutes sortes, de cafés et de restaurants luxueux.

Le palais proprement dit rappelait assez exactement celui du Trocadéro, avec cette différence que l'hémicycle formant la façade présentait sa concavité à l'extérieur. Une galerie couverte parcourait cette façade d'un bout à l'autre; elle aboutissait, à chaque extrémité, à un pavillon surmonté d'une tour très élevée à laquelle on avait donné la forme exacte de la pile cylindrique imaginée par Volta. Au centre de l'hémicycle, se dressait un troisième pavillon monumental d'une architecture superbe. Il semble que l'architecte ait eu à cœur d'éviter la banalité.

Dans une vaste galerie courbe, parallèle à l'hémicycle, était exposés les produits de l'industrie de la soie. Dans une série de galeries qui rayonnaient autour de ce demi-cercle, figuraient les appareils d'électricité : divers modèles de piles, d'accumulateurs, appareils de télégraphie, etc.

La municipalisation des services de distribution de l'énergie électrique dans les villes allemandes. — La question de la municipalisation des services

de l'éclairage public et particulier est depuis plusieurs années à l'ordre du jour. Appliquée en Angleterre et surtout en Allemagne sur une assez grande échelle, la municipalisation paraît être aussi du goût de nos édiles parisiens.

Nous ne discuterons pas ici si cette réforme serait avantageuse pour les contribuables, les arguments que font valoir, aussi bien à Paris qu'à l'étranger, les partisans et les adversaires de l'exploitation des services publics par les municipalités étant bien connus de ceux de nos lecteurs que la question intéresse. Nous nous bornerons à faire connaître comment les choses se passent en Allemagne en reproduisant les quelques fragments qui suivent du volumineux et intéressant ouvrage que M. Charles Bos, député, et M. J. Laffargue viennent de publier sur la *Distribution de l'Énergie électrique en Allemagne*.

Visiblement, les Allemands tendent à municipaliser l'éclairage soit par le gaz, soit par l'électricité, la distribution des eaux, l'exploitation des tramways. Le service public est d'ailleurs en vogue au delà du Rhin depuis que l'État a fait l'expérience du rachat des chemins de fer. Dans leur bon sens d'hommes pratiques, les Allemands se disent : « Si nous concédons ou notre eau, ou notre gaz, ou notre électricité, ou nos tramways à une société, celle-ci encaissera évidemment des bénéfices en dehors de l'intérêt de son capital. Pourquoi donc ces bénéfices ne reviendraient-ils pas à la collectivité par l'abaissement des tarifs au prix de revient, étant entendu que ce prix comprendra l'intérêt des capitaux engagés dans l'affaire, l'amortissement ainsi que le prélèvement annuel d'une somme destinée aux besoins futurs et à l'imprévu ? Et le meilleur moyen, pour nous, municipalités, d'arriver à cet abaissement des tarifs, n'est-il pas d'exploiter nous-mêmes ? Il n'est pas de premier bourgmestre (Oberburgmeister) de grande ville allemande qui ne vous tienne ce langage. Nous répétons que l'exemple donné par l'Etat avec les chemins de fer a séduit toutes les communes importantes. L'exploitation des chemins de fer allemands a, en effet, réalisé longtemps l'idéal du vrai service public conçu dans l'intérêt de la masse. Le malheur est que la matière imposable étant devenue de plus en plus rare, par suite des exigences continuelles du militarisme, le service public initial s'est transformé en service fiscal. A cette heure, de par la faute de M. Miquel, ancien premier bourgmestre de Francfort-sur-le-Rhin, les chemins de fer allemands rapportent 120 millions de marks, soit 150 millions de francs, et cette belle recette menace d'augmenter dans l'avenir au détriment de l'entretien des voies, de par les économies réalisées sur le personnel et sur le matériel et en conséquence d'élévations de tarifs peu sensibles. Aussi les Allemands sont-ils généralement mécontents de l'innovation de M. Miquel, et leurs vieux hommes d'Etat, qui ont voulu et obtenu le rachat des chemins de fer, ne décolèrent pas à la pensée que leur œuvre a été ainsi travestie.

Pour une commune, obérée par de grands travaux par exemple, le terrain du service public est véritablement glissant. On tombe si vite dans l'exploitation fiscale. Dans ce cas il est bien certain que les contribuables n'ont rien gagné au change. Au lieu d'être écorchés par une société, ils le sont par la ville. Ils y ont peut-être perdu. Une compagnie qui gagne de l'argent fait volontiers des concession pour conserver ses clients ou pour s'en procurer de nouveaux. Dans tous les cas, il est possible de l'y contraindre quelques fois, ne serait-ce que lorsqu'elle sollicite une prorogation de son privilège. Avec une ville endettée, le contribuable, au contraire, aura beau réclamer, il n'aura jamais satisfaction.

Nous devons reconnaître que les communes allemandes où des services publics existent, où notamment l'énergie électrique est municipalisée, n'en sont pas encore là. Il est possible qu'elles y arrivent un jour. Mais pour le moment leurs services publics sont bien exploités au mieux des intérêts des habitants.

Les lois allemandes laissent sur ce point particulier du service public, comme sur beaucoup d'autres, la plus grande liberté aux communes. Nous disons les lois allemandes, car il n'y a pas qu'une loi communale au delà du Rhin. Il y en a peut être cinquante, soixante, davantage encore. Chaque Etat de la confédération a la sienne propre ; on peut même dire que chaque ville de quelque importance a ses statuts. En réalité, dans cet empire qui paraît très centralisé, c'est, qu'on nous passe l'expression, la décentralisation la plus absolue au milieu d'une centralisation apparente qui n'existe que pour la question primordiale de l'unité germanique. L'autonomie communale est la base de la confédération.

Cette autonomie est même si complète que, bien qu'à côté du conseil municipal élu il existe un premier bourgmestre et des adjoints (burgmeisters) choisis et nommés par le pouvoir on voit des municipalités résister aux désirs, aux ordres de l'empereur. Ainsi à Berlin — c'est un fait que nous citons en passant — la municipalité a voulu édifier un monument rappelant la révolution de 1848 qui obligea le premier régent depuis Guillaume Ier, à fuir sa capitale ; elle a, contre la volonté énergiquement exprimée du souverain, maintenu ses délibérations. De telle sorte qu'il est fort possible que le monument s'élève un jour sur l'emplacement désigné, à côté même du palais du Kaiser.

Il faut ajouter que les administrateurs des communes allemandes sont très instruits. On ne peut être, en effet, premier bourgmestre ou adjoint, si l'on ne possède le diplôme de docteur en droit. La plupart des bourgmestres ont, au surplus, exercé pendant plusieurs années les fonctions d'avocat ou de notaire. Ils ont donc l'habitude du contentieux. Ils savent rédiger et interpréter les contrats.

Dans le service public, ils apportent la même entente pratique des affaires Aussi bien peut-on dire que les services publics communaux de l'Allemagne sont admirablement compris et administrés. Les dépenses du personnel sont réduites au strict nécessaire ; pas de favoritisme qui puisse valoir un emploi inutile à une personne recommandée puissamment ; le matériel est de premier ordre ; les consommations de charbon et de matières premières sont soigneusement contrôlées ; la comptabilité au lieu de présenter les mêmes complications que chez nous et d'empêcher pour les achats, les marchés à long terme, est d'une simplicité merveilleuse qui permet à un chef de service de s'approvisionner au meilleur compte. Enfin les services publics allemands sont pourvus de budgets spéciaux où tout apparaît réellement, dépenses comme recettes. Les bourgmestres, du reste, ne font aucune difficulté pour vous communiquer tous les documents intéressant l'administration de leurs communes ; budgets, traités, correspondances échangées entre

ville et concessionnaires, tout vous est remis pour peu que vous en fassiez la demande.

Plusieurs villes sont propriétaires de tramways, telles Düsseldorf et Francfort, mais aucune ne les exploite elle-même. La commune les a confiés à une sorte de Société fermière qui dirige le service à la façon d'une régie en participation de bénéfices. Par exemple, la Ville fournissant la voie, le matériel, le courant, la Compagnie payera tant par kilomètre, tant par place occupée, tant par kilowatt-heure consommé. Le reste des recettes lui appartiendra.

C'est surtout dans l'éclairage et dans la distribution de force motrice que triomphe le service public. On ne compte plus les villes qui exploitent elles-mêmes l'éclairage électrique : Cologne, Munich, Düsseldorf, Hambourg, Nuremberg. etc. possèdent de vastes stations centrales appartenant à la municipalité. On a trouvé plus haut dans, les services publics d'éclairage électrique comme sur les réseaux de tramways, les renseignements les plus complets. Il ne faudrait pas croire que les services publics communaux ont été créés de toutes pièces en Allemagne. A la vérité, ils ont pris presque partout la place de concessions arrivées à leur terme. Quelquefois, même, ils sont exploités concurremment avec d'autres concessions ayant trait au même objet et toujours entre les mains de sociétés. C'est ce qui existe à Hambourg où, à côté des stations centrales appartenant à la ville, se trouvent d'autres stations qui sont la propriété des sociétés d'éclairage public et de tramways.

A Paris, ce service public ne peut pas se développer, le Conseil d'Etat ayant admis cette jurisprudence que les municipalités n'ont pas le droit de se livrer à des actes de commerce. Or vendre du courant soit pour l'éclairage, soit pour la force motrice, c'est bien un acte de commerce au premier chef. Mais en Allemagne, il n'en est pas de même. Les communes, si elles veulent, jouissent de la faculté de vendre directement au consommateur leur eau, leur énergie électrique, leur gaz, tout ce qu'elles produisent.

Une usine hydro-électrique de 40 000 chevaux à Calès (Dordogne). — Une enquête vient d'être ouverte concernant l'établissement d'une usine importante à Calès, barrage de Mauzac, sur la Dordogne, qui a pour but d'utiliser la chute du barrage et de produire une puissance de 35 000 à 40 000 chevaux environ, destinée à être transportée électriquement à Périgueux, à l'effet d'actionner les tramways électriques de Périgueux à Vergt et prolongement sur Trémolat, Calès, Cadouin, Saint-Avit-Sénieur, Beaumont, Castillonnès, etc.; éclairer à l'électricité les villes environnantes de Lalinde, Le Bugue, Limenil, Cadouin, Le Bouisson, Beaumont, etc.; et enfin de permettre de créer sur place, au barrage de Calès (rive gauche) des usines mues électriquement, telles que papeteries, tanneries, scieries mécaniques, raffineries, etc.

Ce projet qui, réalisé, aura tant d'importance pour la région est dû à l'initiative de M. Claret, ingénieur.

L'emploi de l'électricité dans les élévateurs de grains. — L'utilisation de l'énergie électrique pour actionner les différents appareils employés dans les énormes constructions en usage en Amérique pour la conservation des grains présente de nombreux avantages qui ont été indiqués dans ce journal à propos de la description du Great Northern Elevator de Buffalo (*Écl. Élect.*, t. XIV, page 339, 1898), le premier élévateur entièrement actionné par l'électricité. Les avantages et les excellents résultats obtenus depuis la mise en exploitation de cet élévateur en 1897 ont amené la création de plusieurs autres établissements du même genre.

En novembre 1897 la Electric Grain Elevator Cy de Buffalo a fait équiper par la Compagie Westinghouse de nouveaux bâtiments; le courant venant des chutes du Niagara à 2 200 volts est transformé en courant à 440 volts par deux transformateurs de 165 kilowatts. Ces bâtiments contiennent de nombreux moteurs d'induction dont quatre de 75, trois de 50, et deux de 40 chevaux.

L'élévateur de MM. C.-G. Curtiss et Cie de Buffalo a été également équipé par la Compagnie Westinghouse. Cet élévateur contient trois transformateurs de 50 kilowatts alimentés également par le courant du Niagara, cinq moteurs de 50 chevaux et un moteur de 15 chevaux.

La Compagnie des chemins de fer Great Northern construit actuellement à West superior un nouvel élévateur qui sera également mû par l'électricité.

Enfin la Compagnie des chemins de fer New-York Central and Hudson River a décidé de faire également usage de l'énergie électrique dans le nouvel élévateur qu'elle fait construire à Weehawken, N.-J.

L'électricité sur le yacht « Victoria and Albert ». — Ce nouveau yacht construit pour la reine d'An-

gleterre et qui fut récemment lancé à Pembroke Dockyard sera pourvu d'une installation électrique, Il y aura trois dynamos, et chacune sera assez puissante pour éclairer le bateau entier, lequel contiendra 550 lampes outre celles des appartements royaux. On emploiera aussi l'électricité pour les ventilateurs, les ascenseurs, les pompes, les guindants pour les bateaux et pour le chauffage.

Les tramways de Florence. — Dès l'année 1891 une ligne électrique avait été établie par la Compagnie Sprague pour relier Florence à Fiesole, ville de 14 000 habitants, située à peu de distance de Florence mais à une altitude de 250 m plus élevée. Les résultats de cet essai ne tardèrent pas à décider la Société des tramways florentins à appliquer la traction électrique sur ses autres lignes et aujourd'hui le réseau électrique comprend plus de 60 km de lignes installées par la Compagnie Thomson-Houston de la Méditerranée.

Ce *réseau* comprend 3 lignes principales de pénétration qui, de l'Eglise du Dôme, centre de la ville, rayonnent sur la banlieue en se subdivisant en 7 lignes. Une ligne de ceinture, construite sur les boulevards qui entourent la ville, réunit entre elles toutes les lignes de pénétration.

L'usine génératrice a été édifiée dans un vaste terrain situé sur la ligne de ceinture, au point de soudure de la ligne de Fiesole. La salle des chaudières contient 4 générateurs système Weinling à deux cylindres superposés, ayant individuellement une surface de chauffe de 155 m² et pouvant donner chacun 2 500 à 3 000 kg de vapeur sèche à 9 atmosphères par heure. Chaque générateur est muni d'un sécheur de vapeur système Schwœrer. L'eau d'alimentation, épurée dans un appareil système Desrumeaux, passe dans un économiseur Green avant de se rendre aux générateurs. La salle des machines contient trois groupes générateurs à accouplement direct, deux de 700 chevaux, le troisième de 350 chevaux. Les trois machines à vapeur tournent à la vitesse angulaire de 120 t : m; elles sont à condensation et l'eau de condensation est fournie par une pompe centrifuge actionnée par un moteur électrique de 25 chevaux. Les deux grandes dynamos sont du type Thomson-Houston à 8 pôles; la troisième est une Thomson-Houston à 6 pôles. Le tableau de distribution comprend 8 panneaux dont 3 pour le service des dynamos, 1 pour les appareils totalisateurs, 1 pour la distribution de l'énergie et de l'éclairage dans l'usine, les ateliers et le dépôt et 2 pour les deux feeders d'alimentation. La salle des machines contient aussi une dynamo de 20 kilowatts à 500 volts mue par un petit moteur à vapeur de 40 chevaux et qui est

chargée d'assurer le service de l'éclairage après la fermeture du service des tramways.

La *ligne aérienne*, tant sur le réseau urbain que sur le réseau de banlieue, est constituée par un double fil de trôlet de 8,25 mm de diamètre. La suspension de ce double fil a été faite dans l'intérieur de la ville, soit par fils transversaux tendus entre poteaux métalliques ou entre rosaces à amortisseurs scellées aux murs des maisons, soit par poteaux métalliques à consoles. Le réseau aérien est divisé en sections d'environ 500 m chacune avec interrupteurs et commutateurs de section. Ces derniers appareils sont disposés de telle façon que chacun des deux fils parallèles d'une même section peut être, en cas d'avarie, mis hors circuit, le service continuant à être assuré par le second fil de trôlet. Un parafoudre par section complète l'ensemble des dispositions adoptées pour assurer la sécurité des lignes et du matériel électrique. Le fil de trôlet est placé à une hauteur de 6 m au-dessus du niveau des rails, suivant les prescriptions du cahier des charges.

Les *feeders d'alimentation* sont souterrains dans l'intérieur de la ville; ils sont alors constitués par des câbles fortement isolés et armés, de 250 ou 300 mm^2 de section; ils sont connectés à la ligne aérienne par l'intermédiaire des interrupteurs de section et sont passés à l'intérieur des poteaux. Sur les lignes suburbaines les feeders sont aériens et constitués par des câbles nus de 115 ou 250 mm^2 de section.

Le *circuit de retour* est constitué par la voie; les rails sont connectés au moyen d'un double « Chicago rail bond » de 9 mm de diamètre; les files de rails sont reliées tous les 50 mètres par des fils de cuivre. Comme feeders de retour on emploie de vieux rails connectés électriquement et enterrés à une profondeur de 70 cm environ.

La *voie ferrée* est construite en rails Broca, de 34 kg au mètre et de 10 m de longueur; ces rails sont posés sur traverses métalliques du poids de 18,750 kg chacune; il y a 7 traverses par rail. Dans la banlieue on fait usage de rails Vignole, de 24 kg au mètre, posés sur traverses de chêne; chaque rail a une longueur de 9 m et repose sur 10 traverses.

Le *matériel roulant* comprend, outre de nombreuses voitures de remorque, 75 voitures automotrices se divisant en :

60 voitures fermées équipées à 2 moteurs GE-800 de 25 chevaux effectifs chacun ;

10 voitures ouvertes également équipées à 2 moteurs GE-800;

5 voitures fermées également à 2 moteurs GE-57, d'une puissance effective de 50 chevaux chacun.

Ces dernières voitures sont destinées à remorquer en ville les trains amenés jusqu'aux barrières par les locomotives à vapeur, sur les lignes où la traction à vapeur n'a pas été supprimée.

Toutes ces voitures sont munies de freins électromagnétiques. Elles sont montées sur des trucks type Brill qui permettent de passer avec facilité dans des courbes de 14 m de rayon, bien que l'empattement des roues soit de 1,829 m. Elles peuvent contenir 38 personnes.

La traction électrique en Allemagne. — Nos lecteurs savent, par les nombreuses informations qui ont été publiées sur ce sujet, combien la traction électrique a pris de développement en Allemagne. L'extrait suivant d'un rapport du consul des États-Unis à Dusseldorf montre que ce développement ne parait pas près de s'arrêter.

Les villes les plus importantes de l'empire allemand, Aix-la-Chapelle, Brunswick, Chemnitz, Dresde, Hambourg, Hanovre, Leipzig, Munich et Stettin ont presque complètement abandonné la traction animale qu'elles ont remplacée par la traction électrique. A Berlin, Breslau, Cassel, Cologne,

Les actions anciennes doivent être munies, suivant leur date d'émission, d'une ou plusieurs estampilles dont la dernière est ainsi conçue : « Capital porté à cinq millions de francs par délibération de l'Assemblée générale extraordinaire du 15 novembre 1897. »

Société française d'électricité A. E. G. — Sous ce nom vient d'être constituée une nouvelle société dont le siège social est 22 rue Richer, et qui a obtenu la représentation générale de la Allgemeine Elektricitaets Gesellschaft, de Berlin, pour la vente de ses produits aux installateurs et revendeurs en France et dans ses colonies.

La direction de cette société est confiée à M. Arture Salomon.

L'Union électrique. — L'Assemblée générale extraordinaire du 10 juin a décidé de porter le capital social de 1 500 000 fr à 4 millions par la création et l'émission de 500 actions de 500 fr qui ont été mises en souscription au pair avec privilège réservé aux porteurs des actions anciennes.

Une seconde Assemblée extraordinaire, réunie le 27 juin, a reconnu la sincérité de l'acte de déclaration de souscription et de versement de sorte que le capital est définitivement porté à 4 millions.

Le Conseil d'Administration, renouvelé en entier, se compose pour six ans de MM. Alfred Odier, Jacques Bidermann, Adrien Guitton, Antoine Lumière, Ludovic Labbé, Edmond Rodier, Philippe Odier, Ernest Méja, Benjamin Rossier, Dreyfus-Brettauer, Henri Oswald, Jules Fisch et Louis La Roche.

Adjudications.

Cascaes (Portugal). — Des soumissions sont demandées avant le 6 septembre par les autorités municipales de Cascaes, pour la concession de l'éclairage électrique de la ville.

Christiania (Norvège). — Les autorités du chemin de fer de l'État Norvégien, dans cette ville demandent des soumissions avant le 9 août pour la fourniture de 9 tonnes 1/5 de fil de cuivre, 13 tonnes de fil de fer galvanisé et 6 300 isolateurs en porcelaine.

La Quineta (Espagne). — Des soumissions sont demandées pour la concession de l'éclairage électrique de La Quineta (province d'Albacete) durant une période de quinze ans.

Praïa (Iles du Cap-Vert). — Le conseil municipal de Praïa, Saint-Jago, demande des soumissions

98 volts avec les lampes de Carcassonne ;
106 volts avec les lampes à vis Solignac et Criquebeuf ;
120 volts avec les lampes à baïonnette Solignac et Criquebeuf ;
100 volts avec les lampes Angenault ;
2° Que les 9 lampes ont bien fonctionné pendant toute la durée sans perte trop appréciable d'intensité lumineuse ;
3° Que la dépense en watts était de
4,17 par bougie pour les lampes de Carcassonne ;
3,60 par bougie pour les lampes Solignac et Criquebeuf ;
4,80 par bougie pour les lampes Angenault ;
4° Que la durée a été :
Lampes de Carcassonne : 145, 190, 210 ; moyenne 192 heures ;
Lampes Solignac et Criquebeuf : 102, 160, 130 ; moyenne 131 heures ;
Lampes Angenault : 380, 166, 475 ; moyenne 307 heures.

Aucune lampe n'ayant vécu 400 heures, la commission est d'avis qu'il n'y a pas lieu de décerner le prix ; mais comme les trois concurrents ont présenté des lampes remarquables sous tous les autres rapports, elle propose d'accorder à titre d'encouragement une médaille d'argent à chacun d'eux.

Elle propose également de remettre le prix au concours en fixant à 500 heures la durée minimum moyenne prise sur 5 lampes.

Ce prix pourrait être décerné en 1901.

Traction électrique. — **Bordighera-San Remo et Porto-Maurizio-Oneglia (Italie).** — Le Conseil provincial de Porto-Maurizio, après avoir concédé à la maison Woodhouse et Baillie l'établissement d'un tramway électrique entre Bordighera et San Remo, faisant suite à celui de Ventimile-Bordighera, vient d'accorder à Siemens et Halske, de Berlin, l'installation d'un tramway électrique de Porto-Maurizio à Oneglia. T.

— **Douai (Nord).** — Le 24 août a été inaugurée officiellement la ligne de tramways électriques allant de la Place d'Armes à la Gare, par les rues de Bellaire et Saint-Jacques.

La ligne a été mise en exploitation le lendemain.

L'on procède en ce moment aux études préparatoires de la ligne du faubourg de Paris à Waziers qui desservira les nouveaux entrepôts.

— **Lyon (Rhône).** — Il est ouvert une enquête jusqu'au 14 septembre sur l'avant-projet d'établissement d'un tramway à traction électrique, entre Lyon (place Tolozan) et Dagneux, pour la partie comprise sur le territoire du département du Rhône.

A cet effet, un registre d'enquête, destiné à recevoir les observations auxquelles pourra donner lieu le tramway projeté, sera ouvert à la mairie de Lyon et à celle de Neuville.

Les pièces du projet resteront déposées, pendant un mois, à chacune des mairies ci-dessus désignées, où les intéressés pourront en prendre connaissance.

Le plan de traverse de Caluire sera déposé pendant le même temps, avec un registre spécial, à la mairie de cette commune.

A l'expiration de ce délai d'un mois, une commission se réunira à la préfecture pour donner son avis tant sur les résultats de l'enquête que sur l'utilité du projet.

— **Mexico (Mexique).** — L'inauguration officielle des premiers tramways électriques construits dans cette ville aura lieu le 16 septembre. La plus grande partie des rails sont posés dans les districts suburbains comme Guadaloupe, Tacubaya, San Pedro, Mixcoac et San Angelo, et l'érection des supports pour les fils de transmission se fait en ce moment. A.

Éclairage électrique. — **Annecy (Haute-Savoie).** — Une société au capital de 500 000 fr entreprend actuellement de grands travaux à Brassilly. Des bâtiments sont en construction à chaque extrémité du tunnel de Brassilly entre Lovagny et Annecy et avant peu la société établira un fort barrage destiné à capter les eaux du Fier qui traverseront un tunnel de 1 200 m de longueur. A la sortie du tunnel, qui sera parallèle à celui du chemin de fer, les eaux captées donneront une chute énorme de 26 m de hauteur.

Les travaux du tunnel à exécuter commenceront cet automne aux deux extrémités. Dès que la chute prévue sera établie, la société a l'intention de construire des usines électriques, et les industriels pourront obtenir la force motrice qu'ils désireront.

Cette entreprise est des plus heureuses, elle est appelée à rendre d'importants services et à augmenter dans de notables proportions, la prospérité industrielle de cette région.

Il est à désirer que la société gazière de laquelle l'usine d'Annecy dépend, entre en pourparlers avec la société de Brassilly pour l'installation de l'électricité à Annecy. Le barrage de Brassilly procurera, nous dit-on, une des plus belles chutes établies à ce jour dans toute la région.

Société française de Tramways électriques et de Voies ferrées. — Le 10 août, a eu lieu au siège social, Boulevard Malesherbes, 9, l'assemblée constitutive de la Société française de tramways électriques et de voies ferrées au capital de 5 000 000 fr.

Le Conseil d'administration est composé de : général Leplus, président ; Charles Le Beuf, administrateur-délégué ; vicomte de Segur-Lamoignon ; De Briancion de Liman ; Félix Delhaye ; Eugène Fichefet ; baron Albert de Fierlant.

Adjudications.

— **Perm (Russie).** — Les personnes désireuses de soumissionner la concession de l'installation et de l'exploitation de l'éclairage électrique de la ville de Perm sont invitées à s'adresser dans le plus bref délai possible à la juridiction de la ville de Perm, où elles trouveront les renseignements nécessaires.

— **Torquemada (Espagne).** — Des soumissions sont demandées par les autorités municipales de Torquemada (Palencia) pour la concession de l'éclairage électrique de la Ville durant une période de 12 ans.

Éclairage électrique d'une ville au moyen d'un puits artésien. — Thargomindah est le nom de cette petite ville de l'Australie qui compte une installation d'éclairage électrique au sujet de laquelle M. Horace Tozer, agent général du Queensland, a fait dernièrement une communication au Royal Colonial Institute. A Thargomindah l'alimentation en eau est fournie par un puits artésien qui procure, en même temps, la force hydraulique nécessaire pour l'éclairage électrique de la ville au moyen de 150 à 200 lampes de 16 bougies. Cette force, prise à l'eau jaillissant du puits est de 27 à 30 chevaux-vapeur.

M. H. Tozer estime que ce système, à la fois économique et très pratique est susceptible de se généraliser dans beaucoup d'autres localités de l'intérieur de l'Australie qui se trouvent placées dans des conditions analogues.

Traction électrique. — Manchester (Angleterre). — La municipalité de Manchester s'occupe actuellement de passer des marchés avec la Compagnie électrique Westinghouse pour quatre groupes électrogènes de chacun 1800 kw. Le matériel mixte de traction et d'éclairage est maintenant installé dans la même usine, mais une autre station doit être bâtie. On assure que dans peu d'années il y aura plus de 100 milles de voies de tramways électriques à Manchester, appartenant à la municipalité ; les frais d'installation sont estimés à environ 1 million de livres sterling. La raison pour laquelle ce marché a été passé avec une maison américaine est sans doute que toutes les maisons d'électricité sont actuellement fort occupées en Angleterre, et qu'à Manchester, comme d'ailleurs dans toutes les autres villes, la question de la livraison et du temps sont des choses importantes. Une autre raison serait que les constructeurs anglais ne sont pas à même d'établir des machines d'une puissance de 1 800 kw.

— **Marseille (Bouches-du-Rhône).** — La Compagnie générale française de tramways de Marseille a reçu de l'Administration des postes et télégraphes l'autorisation d'entreprendre les travaux de substitution de la traction électrique à la traction à vapeur sur la ligne de l'Estaque. Les travaux vont être poussés activement et il est possible que l'inauguration de la traction électrique ait lieu avant la fin de l'été.

— **Roubaix (Nord).** — A une des dernières réunions du conseil municipal le maire donnait connaissance d'un projet de convention à intervenir entre la Ville et la Compagnie nouvelle des tramways de Roubaix-Tourcoing, concernant l'extension du réseau et certaines améliorations.

Voici les grandes lignes de ce projet :

Tous les quartiers de la ville seront desservis par les voitures électriques. Des voies nouvelles seront construites pour relier Roubaix à Leers, à Hem et à Comines par Mouvaux.

Les poteaux et fils disgracieux des trôlets disparaîtront pour faire place à un système à contacts superficiels.

Dans toute l'étendue du trajet les lignes seront éclairées, depuis le coucher du soleil jusqu'à la cessation du service par des lampes à arc.

De grandes améliorations seront apportées aux voitures qui seront chauffées durant l'hiver.

Les tarifs seront réduits. Les prix seront uniformes pour les trajets dans l'intérieur de la ville.

La Compagnie nouvelle des tramways de Roubaix-Tourcoing est autorisée à porter son capital de 5.500,000 francs à 6 millions. La ville se réserve le droit de racheter la concession.

Ce projet de convention a été adopté à l'unanimité.

M. le maire donne ensuite lecture des conditions spéciales suivantes : la Compagnie s'engage à payer à ses ouvriers un minimum de salaire de 4 francs pour huit heures de travail.

M. Penant demande à ce qu'il soit ajouté cette clause : les ouvriers occupés par la Compagnie devront être français, à quoi le maire lui répond que cette condition est inscrite dans l'ancien cahier des charges qui restera en vigueur.

— **Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord).** — A une des dernières séances du conseil municipal le maire a fait connaître à l'assemblée que sur les trois lignes de tramways projetées, le ministère des travaux publics a rejeté la ligne qui devait partir de la gare pour aboutir à la place de la Grille, en passant par le boulevard Charner, les rues Cordière, d'Orléans et Vicairie, la place de la Préfecture, les rues Saint-Gilles et Trois Frères Merlin. Ce rejet est motivé par la largeur insuffisante des rues Vicairie et Trois Frères Merlin.

Le conseil décide de maintenir la subvention de 50000 francs promise au concessionnaire, celui-ci ayant fait valoir que la suppression de la première ligne lui causait un certain préjudice.

Compagnie des Tramways mécaniques des Environs de Paris. — En exécution des résolutions votées par l'Assemblée générale extraordinaire du 20 juin dernier, le Conseil d'Administration a décidé de porter le capital social de 300 000 fr à 14 500 000 fr, par l'émission de 12 700 000 fr d'actions à souscrire contre espèces, le surplus étant représenté par des actions d'apport.

Les actionnaires ont un droit de préférence pour la souscription au pair des nouvelles actions.

Adjudication.

Madrid. — Le ministère de la marine demande des soumissions avant le 31 courant pour l'installation et l'équipement d'une usine d'éclairage électrique de l'école navale espagnole.

Télégraphie et téléphonie.

La télégraphie sans fil . . . . XXX, CXIV
L'historique de la télégraphie en Chine . . . LXIII
Lignes téléphoniques en fer ou aluminium. . L
Un relais téléphonique pour un million de dollars L
La télégraphie et la téléphonie en Chine. . . XXXXI

Éclairage électrique.

Eclairage électrique d'une ville au moyen d'un puits artésien XXXIII
Lampes à incandescence de faible intensité . CII
L'éclairage à l'acétylène des tramways Louvre-Saint-Cloud. LII
Annecy (Haute-Savoie). CV
Arnaville (Meurthe-et-Moselle) LIV
Auxerre (Yonne) XXII
Belle-Isle-en-Terre (Côtes-du Nord). IV
Brakpan (Sud-Afrique) LIV
Chef-Boutonne (Deux-Sèvres) IV
Hongrie XXII
La Mothe-Saint-Heraye (Deux-Sèvres). . . . IV
Menton (Alpes-Maritimes) . . . . IV, XLV
Moissac (Tarn-et-Garonne). LXXVI
Niort (Deux-Sèvres) XXII
Rillieux-le-Pape (Ain). LIV
Saint-Pierre de Rumilly (Haute-Savoie) . . . XXIII
Salers (Cantal). CXLI
Valognes (Manche) LXX
Verviers (Belgique). XCV
Vic-le-Comte (Puy-de-Dôme) XXIII

Electrochimie.

Transformation du charbon amorphe en graphite. LXVI
L'industrie du carbure de calcium. XX
Les usines à carbure de calcium. XIX
Les impuretés du carbure de calcium et de l'acétylène. CV
Sur les procédés régularisant l'action de l'eau sur le carbure de calcium. CXIV
Le développement de l'industrie de l'acétylène. XLI
Statistique de la production du plomb, du cuivre et de l'aluminium pendant l'année 1898 CXVI
Procédé électrique de préparation de la levure. XC

Compagnies et sociétés d'électricité.

Compagnie électrique du secteur de la rive gauche de Paris . . . . VI, XLV
Compagnie française des câbles électriques. XLVI
Compagnie française des câbles télégraphiques. LXXVIII
Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. . . . . VI, XXIII
Compagnie générale d'électricité VII
Compagnie générale française de tramways. XLVI, CXLI
Compagnie des établissements Lazare-Weiller. VII, CXLI
Compagnie nationale d'électricité (système Ferranti). XXIV
Compagnie française des tramways électriques et omnibus de Bordeaux. LXX
Compagnie havraise de tramways électriques. XLVI
Compagnie lyonnaise de tramways. LIV
Compagnie des tramways du département du Nord XCV
Compagnie des tramways électriques de la rive gauche de Paris. CXVII
Compagnie des tramways de l'Ouest Parisien. VI
Compagnie des tramways mécaniques des environs de Paris. XXXIII
Compagnie nouvelle des tramways de Roubaix et Tourcoing XLVI
Compagnie des tramways de Rouen. VII
L'Union électrique. LV
Société électrique hellène. CXXIX
Société française d'Electro-Métallurgie . . . VII
Société française de tramways électriques et de voies ferrées CV
Société française d'électricité A. E. G . . . LV
Société générale électrique et industrielle . . VII, XXIV
Société des forces motrices du Rhône. . . . LXXVIII
Société de transmission de la force par l'électricité XXIV
Tramways de l'Ouest Parisien. LXXVIII

Bibliographie.

La distribution d'énergie électrique en Allemagne. — *Ch. Bos* et *J. Laffargue* . LIX
Le Volta. — *Camille Grollet*. LX
Leçons sur l'électricité professées à l'Institut électrotechnique Montefiore. — *Eric Gérard* LXXI
Jahrbuch der Elektrochemie. (Annuaire d'électrochimie 1898). — *W. Nernst* et *W. Borchers* LXXXIII
Télégraphie électrique sans fil. Répétiteurs. — *Emile Guarini Foresio* LXXXIII
Transmission de l'énergie électrique par un fil et sans fil (par l'éther). — *Emile Guarini-Foresio* LXXXIII
Recherches expérimentales sur les oscillations électriques. — *A. Turpain* LXXXIII
Die Ankerwicklungen und Ankerkonstrucktionen der Gleichstrom Dynamomaschinen. (Enroulement et construction des dynamos à courant continu.) — *E. Arnold* CVIII
Recherches expérimentales sur le passage des ondes électriques d'un conducteur à un autre. — *G. Gutton*. CXXXII
Guide pratique de l'amateur électricien. — *E. Keignart* CXXXII
Analyses électrolytiques. — *Ad. Minet*. . . CXXXII
Deuxième excursion électrotechnique en Suisse par les élèves de l'Ecole supérieure d'électricité. — *Jacques Guillaume*. CXXXII
Deuxième supplément au Cours de physique de l'Ecole polytechnique ; progrès de l'électricité. — *Bouty*. CXXXI
Die Sicherungen von schwach und Starkstromanlagen gegen die Gefahren dere Atmosphærischen Elektricitaet. (Production des conducteurs à faibles et à forts courants contre les dangers de l'électricité atmosphérique). — *Friedrich Neesen*. CXLIII
Le Mois scientifique et industriel CXLIII





